

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Кононенко Николай Сергеевич

**Особенности корковых взаимодействий при формировании программ
движений во время реализации и корректировки сложного произвольного
бимануального двигательного акта**

1.5.5. Физиология человека и животных

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, доцент

Ткаченко Павел Владимирович

Курск – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА | 13 |
| 1.1. Структурно-функциональные основы произвольной активности | 13 |
| 1.2. ЭЭГ - активность при выполнении двигательного акта | 23 |
| 1.3. Исследование проявлений двигательной активности при реализации сложнокоординированных бимануальных движений | 28 |
| ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ | 31 |
| 2.1. Общая характеристика исследования | 31 |
| 2.2. Методика исследования биоэлектрических потенциалов головного мозга | 32 |
| 2.3. Методика исследования координации произвольных целенаправленных движений | 36 |
| 2.4. Методика определения доминирующего эмоционального состояния | 39 |
| 2.5. Статистическая обработка данных | 40 |
| ГЛАВА 3. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО СЛОЖНОКООДИНИРОВАННОГО БИМАНУАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ | 44 |
| 3.1. Координация произвольной двигательной активности рук в группе испытуемых женского пола | 44 |
| 3.2. Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения показателей координации произвольной двигательной активности рук у испытуемых женского пола | 46 |
| 3.3. Координация произвольной двигательной активности рук в группе испытуемых мужского пола | 48 |
| 3.4. Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения показателей | |

| | |
|---|-----|
| координации произвольной двигательной активности рук у испытуемых мужского пола | 50 |
| 3.5. Сравнительная характеристика средних показателей произвольной двигательной активности рук в женской и мужской группах исследования | 51 |
| 3.6. Сравнительная характеристика корреляционных взаимоотношений показателей координации произвольной двигательной активности рук у испытуемых женского и мужского пола | 56 |
| ГЛАВА 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО БИМАНАУЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЬНОГО АКТА | 59 |
| 4.1. Электрическая активность головного мозга при выполнении движения в группе испытуемых женского пола после выполнения серии заданий суппортметрии | 59 |
| 4.2. Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения характеристик электрической активности головного мозга при выполнении произвольного двигательного акта у испытуемых женского пола | 64 |
| 4.3. Электрическая активность головного мозга при выполнении движения в группе испытуемых мужского пола после выполнения серии заданий суппортметрии | 84 |
| 4.4. Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения характеристик электрической активности головного мозга при выполнении произвольного двигательного акта у испытуемых мужского пола | 88 |
| 4.5. Сравнительная характеристика электрической активности головного мозга при выполнении движения в группе испытуемых женского и мужского пола ... | 109 |
| 4.6. Особенности внутрисистемных корреляционных взаимоотношений электрической активности головного мозга при выполнении произвольного двигательного акта после выполнения заданий суппортметрии у испытуемых женского и мужского пола | 112 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ | 131 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 144 |
| ВЫВОДЫ | 145 |
| ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ..... | 147 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ..... | 148 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 149 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Корковый уровень регуляции движений представляет собой сложную морфофункциональную систему, ядро которой находится в области центральной роландовой борозды, где граничат между собой прецентральная извилина с преимущественно моторной функцией и постцентральная извилина с преимущественно сенсорной функцией. В области передней центральной извилины расположены центры движений противоположных конечностей [70]. Отмечается важнейшая роль двигательной коры в организации и контроле тонкости и точности движений, особенно в процессе обучения [29].

При реализации бимануального ритмического теппинга установлено, что быстрые ритмические бимануальные движения представлены в ЦНС в виде моторной программы их такта и выполняются путем последовательной реализации этой программы [61]. В инициации моторной программы, по всей вероятности, участвуют более высокие уровни двигательной системы (дополнительная моторная, премоторная и префронтальные области коры), чем в процессе ее выполнения, который обеспечивается взаимодействием моторной коры и субкортикальных структур [69].

Отдельно хочется остановиться на работе Б.И. Гутника (1990), где отмечается, что в ЦНС механизмы бимануальной синхронизации, т.н. «таймер» связан с высшей ступенью иерархии моторного управления и периодически синхронизирует двигательные паттерны с корковых зон обоих полушарий, направленных на активацию мотонейронных пулов мышц каждой руки. Исходя из концепции А.А. Ухтомского, можно предполагать, что синхронизация важнейшего момента бимануальной деятельности отражает доминирующую констелляцию симметричных кортикальных флексорно-экстензорных центров каждой руки, объединенных общим рабочим ритмом. Важно, что «таймерный механизм» формируется в результате подобной «сонастройки», являясь частным случаем усвоения ритма и рабочего объединения нервных центров. Отмечается, что

трудовые движения в большей степени соотносятся с быстрой и точностной бимануальной деятельностью [105].

Большой экспериментальный и клинический материал по организации двигательной активности получен по средствам электроэнцефалографии, отражающей состояние церебрального гомеостаза. Хорошо известно значение ЭЭГ в оценке общих и местных изменений больного и здорового мозга. Так, установлено, что при выполнении произвольных двигательных задач наблюдается гетерогенность и неравнозначность ритмов ЭЭГ. При этом количество и частотные параметры спектральных компонентов определяются главным образом индивидуальной выраженностью альфа-ритма [132, 173].

Изучение электрофизиологических коррелятов инициации и прекращения движения показало, что инициация и прекращение однократного произвольного движения сопровождаются возникновением паттернов корковой активности, имеющих одинаковую конфигурацию. При этом комплексное использование методик амплитудной модуляции ЭЭГ и медленных потенциалов позволяет выявить специфичность формирования двигательных программ [94]. Используя закономерности нейрофизиологических коррелятов, проведено обоснование биоуправления в психомоторном обучении, зависящего от исходных параметров альфа-активности [84, 123, 125].

Степень разработанности темы исследования

В последние годы изучением проблемы целенаправленной сложнскоординированной деятельности на корковом уровне занимались следующие исследователи: Базанова О.М. (2006), Кирой В.Н. (2010), Болдырева Г.Н. (2013), П.В. Ткаченко (2014), Асланян Е.В. (2015), Иващенко Е.А. (2019), Трошина Е.М. (2020), Лазуренко Д.М. (2021) и др.

Их работы в значительной степени позволяют изучить биоэлектрическую активность мозга при реализации и мысленном представлении двигательного акта в различных его проявлениях, от простого к сложному. Однако, в трудах, этих

ученных не рассматриваются особенности активности коры больших полушарий в ходе выполнения бимануальных движений, не представлены данные электроэнцефалографических коррелятов в ходе выработки программ движений и их последующей коррекции, не в полной мере отражается внутрисистемное корковое взаимодействие для инициации и коррекции движения.

Цель исследования

Исследовать устойчивые закономерности организации электрической активности головного мозга при реализации произвольных целенаправленных бимануальных движений.

Задачи исследования:

1. установить уровень бимануальной координации с использованием метода суппортметрии;
2. исследовать особенности ЭЭГ-картины при выполнении произвольного бимануального сложнокоординированного двигательного акта;
3. определить устойчивые корреляционные взаимоотношения характеристик электроэнцефалограммы и показателей уровня бимануальной координации;
4. выявить особенности организации сенсомоторной сферы у испытуемых мужского и женского пола;
5. установить особенности корковой внутрисистемной организации при формировании программ движения.

Научная новизна исследования

Впервые проведен комплексный анализ спектров и ритмов ЭЭГ, картирование головного мозга с применением когерентности, автокорреляционного и кросскорреляционного анализов при выполнении

произвольных целенаправленных бимануальных сложнскоординированных движений. Получены данные о многосторонних взаимоотношениях электрической активности мозга и уровня бимануальной координации. Впервые проведен внутрисистемный анализ корковых взаимосвязей при выработке программ и движений, и последующей коррекции.

Теоретическая значимость исследования

Представленные в работе данные электрической активности нервных центров коры больших полушарий при выполнении произвольного целенаправленного бимануального движения расширяют уже имеющиеся сведения о корковых представительствах инициации и коррекции локомоции. Получены представления о внутрисистемных взаимоотношениях корковых представительств молодых людей разного пола в ходе реализации произвольной целенаправленной бимануальной деятельности.

Выявлены различия в стратегиях выполнения произвольных движений, оказывающие влияние на результативность целенаправленной деятельности, что, при дальнейшем их изучении, может служить основой для разработки методов, профессионального отбора на производства, требующие тонкой координации движений рук, оценки динамики освоения сложных двигательных навыков и прогнозирования успешности производственной деятельности, профессионального отбора спортсменов в различные виды спорта и прогнозирования успешности спортивной деятельности, оценки динамики освоения двигательных навыков в реабилитации, а также может послужить основой для разработки и коррекции интерфейсов «мозг-компьютер» и методов биоуправления экзоконечностями.

Практическая значимость исследования

Данные, полученные в ходе диссертационной работы, могут быть

использованы в дальнейших физиологических и психофизиологических исследованиях для выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в научных учреждениях, а также использоваться в учебном процессе.

Объект исследования

Для достижения сформулированной цели и решения поставленных задач планируется провести электрофизиологические исследования на основе информированного согласия у испытуемых мужского и женского пола (50 мужчин и 50 женщин) в возрасте от 18 до 20 лет.

Методология и методы исследования

Предполагается использовать метода электроэнцефалографии для регистрации биоэлектрических явлений головного мозга с применением электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» производства НПКФ «Медиком МТД», Россия, г. Таганрог.

Уровень бимануальной произвольной двигательной активности планируется определять методом суппортметрии посредством программно-аппаратного комплекса, разработанного работниками НИИ физиологии, объединенного с однопрофильной кафедрой нормальной физиологии, состоящего из механической части и специализированного программного обеспечения «Support 1 Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2010616159. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17 сентября 2010 г.».

«Информационная система для обработки результатов эксперимента «Суппорт 1.0» Федеральная служба по интеллектуальной собственности № 2017615661. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 19 мая 2017 г.».

При статистической обработке полученных результатов планируется

рассчитывать средние значения рассматриваемых показателей с ошибкой. Достоверность различий средних арифметических (критерий достоверности разности) вычисляли по общепринятой формуле и оценивался по таблице критериев Стьюдента для заданного порога вероятности безошибочных прогнозов (0,95, 0,99, 0,999). Для сравнения разных признаков, выраженных в разных единицах измерения, используется не абсолютное, а относительное значение среднего квадратичного отклонения в форме коэффициента вариации (CV).

Информационный анализ величин, а также полный корреляционный анализ с расчетом коэффициентов корреляции и корреляционных отношений.

Положения, выносимые на защиту

1. Уровни пространственной бимануальной координации имеют половые особенности и определяются стратегией выполнения заданной локомоции.

2. Испытуемые, осуществляющие произвольную целенаправленную бимануальную деятельность с различной результативностью, отличаются по характеру показателей электроэнцефалограммы внутрисистемных корреляционных взаимосвязей нервных центров коры больших полушарий головного мозга, с показателями уровня координационной деятельности, что может отражать различную системную организацию физиологических функций при ее выполнении.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов диссертационного исследования определяется использованием современного оборудования и программного обеспечения, применением корректных методов статистической обработки данных, репрезентативностью выборок испытуемых, включённых в исследование, достаточным для обоснования выводов объёмом наблюдений, публикациями по теме работы в рецензируемых научных журналах.

Апробация результатов исследования

Основные материалы исследования были представлены на 85-ой Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежная наука и современность» посвященная 85-летию КГМУ (Курск, 2020); 86-ой Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежная наука и современность» посвященная 86-летию КГМУ (Курск, 2021); 87-ой Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежная наука и современность» (Курск, 2022); 87-й Международной научной конференции «Университетская наука: взгляд в будущее» (Курск, 2022); Научно-практической и учебно-методической конференции с международным участием «Современная медицина и информационные технологии в процессе обучения в период пандемии COVID 19», посвященной 70-летию профессора кафедры хирургических болезней и реанимации Абдурахманова Мамура Мустафаевича (Узбекистан, Бухара, 2022); Конференции молодых ученых и студентов, посвященная 100-летию МГМСУ им. А.И. Евдокимова «Физиология и физика в современной медицине» (Москва, 2022); VIII Региональной научно-практической конференции с международным участием «Павловские чтения» посвященной 85-летию кафедры фармакологии и кафедры патофизиологии Курского государственного медицинского университета (Курск, 2022); Научно-практической конференции с международным участием «От молекулы к системной организации физиологических функций», посвященной 90-летию со дня рождения члена-корреспондента РАМН, профессора А.В. Завьялова (Курск, 2023); IX Международной научно-практической конференции «Павловские чтения 2023», посвященной 130-летию со дня рождения профессора Н.К. Верещагина (Курск, 2023); 89-й Международной научной конференции «Университетская наука: взгляд в будущее» (Курск, 2024); Научно-практической конференции с международным участием «От молекулы к системной организации физиологических функций», посвященной памяти члена-корреспондента РАМН, профессора А.В. Завьялова (Курск, 2024).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, полно отражающих основные положения диссертационной работы, в том числе 3 статьи в журналах перечня ВАК при Минобрнауки России, получено 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, двух глав собственных исследований, обсуждения результатов, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, включающего 193 источников, в том числе 126 отечественных и 67 зарубежных, изложена на 175 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка и 33 таблицы.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Взаимосвязь между высшими отделами центральной нервной системы и произвольными движениями человека является наиболее выраженной, чем с какой-либо другой функцией. Несмотря на это, своеобразие произвольных движений, принципы организации, координации и функционирования остаются на сегодняшний день мало изучены. Именно поэтому, произвольная двигательная активность человека представляется как одна из самых сложных функциональных систем нашего организма.

1.1. Структурно-функциональные основы произвольной активности

Весомый вклад в развитие физиологии движений внес отечественный ученый Н.А. Бернштейн. Им впервые высказана «идея кольцевого управления и «модели потребного будущего», сличающей результат действия с его планом, разработаны представления о динамике процесса обучения новым движениям (от жесткой мышечной коактивации до максимального использования инерционных сил), об ограничении степеней свободы, о смене уровней управления при автоматизации движений и др.» [19, 20].

Изучая физиологию двигательной активности, все двигательные акты следует разделять на произвольные и непроизвольные. Произвольные представляют из себя целенаправленное выполнение действий, управляемое нашим сознанием, где преимущественное влияние оказывает кора больших полушарий, непроизвольные – подсознательные, которые включают в себя двигательные автоматизмы, безусловные реакции.

Процесс автоматизации движений состоит из системы изменений функциональных связей различных структур и проходит в 4 этапа.

На 1-м этапе движения имеют полную кортикализацию. План и программа формируются в ассоциативной и сенсомоторной коре, объединёнными кортико-кортикальными связями. Реализация сформированной программы происходит через кортикоспинальный тракт. На данном этапе задействовано большое количество мышц, движения неловкие и закрепощенные, используется механизм коактивации и находятся под контролем сознания.

На 2-м этапе в организацию движения включается мозжечок и в нем происходят пластические изменения по гипотезам Марра-Олбуса [49, 131, 135, 136]. Согласно гипотезе Марра, «сочетание активации мшинистых волокон, передающих через клетки-зерна и параллельные волокна афферентную импульсацию (контекст) на множество клеток Пуркинье, и лиановидных волокон, происходящих из нижней оливы и передающих на индивидуальные клетки Пуркенье копию исходящей из моторной коры команды, приводит к фиксации следа, после чего соответствующий рисунок возбуждения мшинистых волокон вызывает тот же ответ определенных клеток Пуркинье. Согласно Олбусу, разряд лиановидных волокон не активирует, а подавляет ответ клеток Пуркинье. Поскольку клетки Пуркинье являются тормозными, их торможение приводит к активации нейронов выходных ядер мозжечка, что подтверждается экспериментально» [49, 154, 171].

На 3-этапе в процесс включаются другие корково-подкорковые связи. Нисходящая команда идет параллельно по кортикорубральным и кортикоспинальным путям и там происходят пластические изменения, показанные Цукахарой. Этот ученый доказал, «что на нейронах красного ядра происходит конвергенция аксонных терминалей промежуточного ядра мозжечка и кортикорубральных нейронов моторной коры, причем первые оканчиваются на теле нейрона и проксимальных участках дендритов, в то время как вторые – на дистальных частях дендритов. Разрушение мозжечкового входа вызывает спраутинг – прораствание кортико-рубральных терминалей и образование новых синапсов на проксимальных участках дендритов» [16, 49, 188].

4 – й, заключительный этап – полная автоматизация движения. Основное

влияние оказывают подкорковые структуры, в частности красное ядро и руброспинальный тракт [34, 49].

Исходя из вышесказанного и опираясь на исследования Ж. Массьон [49, 114, 193], можно прийти к выводу о разнонаправленных функциях пирамидного и руброспинального трактов, несмотря на их синергетическую работу. В данном контексте пирамидная система играет важную роль в формировании нового движения, в то время как руброспинальный тракт имеет наибольшую активность при реализации уже сформированных навыков.

Любой двигательный акт имеет сложноподчиненную структуру, где каждый участок выполняет строго свою функцию в соответствии порядком иерархичности и состоит из: 1) программирования двигательного акта в коре; 2) эфферентный путь от экстрапирамидных нейронов к двигательным центрам спинного мозга; 3) моторные импульсы к мышцам кисти и пальцев рук; 4) выполнение движения; 5) афферентная импульсация в спинной мозг, а затем в кору больших полушарий; 6) анализ полученной информации и формирование коррекционной программы; 7) эфферентная импульсация к мотонейронам спинного мозга; 8) передача двигательных команд на мышцы кистей и пальцев руки; 9) коррекция точности выполнения действия [32, 37, 107].

Многогранные взаимосвязи на всех уровнях исполнения движения организованы по классическому принципу функциональных систем. Функциональная система – это динамические, саморегулирующиеся организации, деятельность всех составных элементов которых способствует получению жизненно важных для организма приспособительных результатов. Центральным звеном любой системы является результат ее деятельности, обеспечивающий нормальное физиологическое существование организма [7, 8, 9]. Таким образом, можно говорить об иерархии различных функциональных систем организма, которая, по мнению П.К. Анохина, представляет собой иерархию отдельных результатов деятельности этих систем. Последовательная взаимосвязь функциональных систем во времени описывает системное квантование процессов жизнедеятельности: от потребности к ее удовлетворению [99, 100, 101].

Центральная архитектура целенаправленного поведенческого акта, согласно П.К. Анохину, разворачивается последовательно и включает механизмы: афферентный синтез, эфферентный синтез, санкционирующая стадия. Принятие решения характеризуется формированием для данного момента времени и условия среды, подходящей «линии поведения» в виде акцептора результата действия, удовлетворяющего доминирующую потребность организма [69, 87, 98].

На второй стадии осуществляется динамическое объединение соматических и вегетативных функций в целостный поведенческий акт, результатом которого является целенаправленное действие. При этом целенаправленное движение находится под постоянным контролем акцептора результата действия, в результате постоянного потока афферентных нервных импульсов от проприорецепторов мышц, задействованных в двигательном акте, что позволяет вносить коррективы в изначальную энграмму [115]. Также большое количество сенсорной информации поступает по экстраlemnисковым путям соматосенсорного анализатора. По данным Schmidt и соавторов, данная афферентация оказывает воздействие на уровень активации общей неспецифической системы саморегуляции состояния и формирования внутренних моделей, что обеспечивает общую моторную активность в процессах формирования новых и перепрограммированию старых моторных энграмм [178].

Заканчивается санкционирующей стадией, в рамках которой происходит анализ результатов действия, его сравнение с ранее запрограммированным качеством подкрепляющего раздражителя, удовлетворением доминирующей потребности или внесением корректив для его достижения и после этого завершением поведенческого акта. Это доказывает неоспоримую двухстороннюю связь центра и периферии на основе эфферентной и афферентной импульсации [104, 187].

Благодаря исследованиям А.В. Завьялова, Г.Н. Зайцевой, П.В. Ткаченко [42, 59, 105, 108, 111], выяснено, что показатели сенсорных и эффекторных функций человека находятся в определенной корреляционной взаимосвязи разной формы и выраженности. Функции разной модальности согласованы по своим

характеристикам и от этого зависит характер текущего взаимодействия этих функций. При этом высокой активности сенсорных систем соответствует более совершенная работа нервно-мышечного аппарата. Благодаря данным исследованиям, можно сделать вывод о том, что величина и соотношение уровней функционального состояния элементов системы определяют величину и направленность реакции каждой составляющей на сигналы, поступающие мозг через различные сенсорные входы [109, 113]. Исходная корреляция различных структур обеспечивает согласованием реакций разнородных компонентов в сложных функциональных системах.

Выполнение движения выполняется надсегментарным аппаратом, деятельность которого регулируется на более высоких уровнях: супраспинальном, мозжечковом и корковом. Это обуславливает такое свойство строго выстроенной иерархичной функциональной системы как субординация, которое часто упоминается в работах П.К. Анохина [87, 100].

Кроме того, в работах А.В. Завьялова описываются другие механизмы самоорганизующихся систем, такие как: «сонастройка», «сопряженность». Под понятием «сонастройка» понимается явление, которое характеризует соразмерное распределение активности взаимосвязанных биологических структур, которое является стимулом к началу сложного действия и приводит в состояние готовности другие системы организма. Так при активизации сложного пищеварительного рефлекса в состояние повышенного возбуждения переходят сенсорные, моторные системы [42, 112].

Явление «сопряженности» характеризует относительно постоянную и устойчивую взаимную связь нейронных ансамблей различного функционального уровня и является продуктом формирования их отношений в виде субординации, сонастройки, согласования [91].

Благодаря различным видам взаимоотношений биологических структур в рамках функциональной двигательной системы и их эффективной работе появляется такое понятие как координация двигательной активности. Координация – это способность рационально согласовывать все звенья двигательного акта с

целью адекватного формирования движения согласно текущим условиям окружающей среды [26, 37]. Начинается этот процесс с первичного афферентного потока и заканчивается четким корректирующим ответом центра.

На спинально-сегментарном уровне осуществляется жесткая регуляция мышечной компоненты, и обеспечивают ее количественную характеристику – силу, тонус, объем. Основную работу выполняют надсегментарные отделы, в центрах которых создается точная формула движения и осуществляется их коррекция, причем эти энграммы охватывают весь процесс движения на всем его временном протяжении. При иницировании двигательного акта уже существует совокупность энграмм необходимых для доведения процесса до полезного результата [49, 77, 78].

В исследованиях П.В. Ткаченко [103, 106, 110, 114] накоплено много экспериментального материала об особенностях координационной деятельности в зависимости от пола исследуемых, а также разработан и стандартизирован программно-аппаратный комплекс на основе суппортметрии, позволяющий на основе временных и пространственных характеристик произвести адекватную оценку сложноскоординированных произвольных целенаправленных бимануальных движений.

Важную роль в реализации сложноскоординированного двигательного акта выполняет аналитико-интегративная деятельность головного мозга и коры больших полушарий. Анализ происходит в специальных структурах, которые дифференцируют категорию и модальность входящих сигналов [78, 85].

В опытах Lotze и соавторов было показано, что реализация двигательной деятельности человека осуществляется посредством активации сенсомоторной коры – первичной моторной (M1) и соматосенсорной (PSC) коры, премоторной (PMC) коры и дополнительной моторной области (SMA) [131].

В исследованиях Redgrave с соавторами установлены различия сегрегированных внутримозговых петель системы базальных ганглиев и таламуса в обеспечении целенаправленных (goal – directed) и привычных (habitual) движений человека [151].

В инициации двигательного акта принимают практически все области коры больших полушарий. В прецентральной извилине расположена моторная область коры, которая является главным центром произвольных движений. После удаления моторной коры «смысловая программа» двигательного акта сохраняется, а нарушается лишь ее исполнение [152, 158]. В исследованиях Г.В. Скипина удалось доказать, что для формирования новых координационных программа необходимо торможение ранее изученных естественных координаций, мешающих выполнению нового движения. Именно это и является основной функцией моторной коры [49, 131]. Таким образом, торможение мешающих синергий является специфичной функцией моторной коры, а не результатом передачи через моторную кору тормозящих влияний других структур мозга [83]. Очевидно, что в процесс обучения в моторной коре формируется программа, включающая два компонента: энграмма новой локомоции и некоторый алгоритм нисходящих тормозных влияний уже имеющихся координаций. В экспериментах Evarts E. V. Было установлено, что активность нейронов моторной коры коррелирует с силой мышечного сокращения [147].

За создание целостного процесса движения («кинетической мелодии»), а не сокращения отдельно взятых мышц, отвечают вторичные поля премоторной области, которые расположены в задней части верхней и средней лобной извилины и в передней части прецентральной извилины. Они отвечают за функциональное состояние мышц, формируют очередность двигательных актов. Постцентральная извилина коры представляет собой общечувствительное поле, которое обеспечивает субъективное ощущение движений. Нижнетеменные области коры формируют представления о взаимном расположении различных частей тела и положении тела в пространстве, обеспечивают точную адресацию моторных команд к отдельным мышцам и пространственную ориентацию движений. Области коры, относящиеся к лимбической системе (нижние и внутренние части коры), ответственны за эмоциональную окраску движений и управление вегетативными их компонентами [79, 92, 102].

Переднелобные области (передние третичные поля) являются важнейшим

звеном в организации произвольной двигательной активности, именно в них происходит программирование произвольных движений, их регулирование и исправление. У больных с поражениями лобных долей головного мозга нарушается смысловая организация сложных двигательных координаций [68].

Большой интерес ученых сегодня вызывает предклинье – это высокопорядковая ассоциативная зона коры, в которой объединяется информация от многих модальностей и обеспечивает осознание положения руки относительно частей тела и в пространстве [68, 78].

В ряде исследований было выяснено влияние первичной моторной коры и переднего мозжечка с латеритизацией движения и воспроизведением определенной траектории [180, 189]. Определенную роль выполняет мозжечок при программировании искусственной координации двух движений [193]. Структуры, активирующиеся при имплицитном и эксплицитном обучении движению, различаются [49]. Степень активации различных структур при первичном обучении и при реализации уже имеющейся программы являются не одинаковыми [49, 182].

Опираясь на классификацию координационных способностей, выделяют несколько моторных профилей, которые характеризуются различной инициацией движения и включением различных структур в процесс коррекции [6, 37].

Большое значение приобретает изучение «тайминга», т.е. последовательного включения различных структур согласно строгой иерархичности для совершения двигательного акта. Идея Г. Кюрнхюбера бала в том, что ассоциативная кора служит для выработки стратегии (префронтальные ее отделы) и тактики (париетальная кора) движения, в то время как временная и пространственная организация двигательного акта выполняется другими структурами [138, 152, 159]. Так сформированная команда из ассоциативной коры попадает в латеральный мозжечок, где создаётся координационная программа для быстрых движений, которая через зубчатое ядро мозжечка и вентролатеральное ядро таламуса приходит в моторную кору. Для медленных движений программа формируется в базальных ганглиях. Копия программы из моторной коры идет в промежуточный

мозжечок, который проводит ее сравнение с реальным выполнением движения за счет обратной афферентации и через промежуточное ядро мозжечка выдает корректирующую команду в моторную кору, а также копию данной команды отправляет на периферию через красное ядро и руброспинальный тракт. Хочется отметить, что важным этапом является именно процессы обратной афферентации [138, 149, 160, 168].

На основании этого можно сделать вывод о том, что моторная кора может рассматриваться как структура «среднего уровня», участки которой селективируются программами, поступающими из ассоциативной коры и мозжечка и которая в свою очередь через кортикоспинальные связи, управляет структурами «низшего (спинального) уровня», обеспечивая выполнение нужного движения и не обладает собственной специфической функцией в процессе формирования новых движений [179, 191].

В ряде исследований обнаружены когерентные осцилляции в ЭЭГ и ЭМГ мышц кисти в диапазоне 20–30 Гц, а также синхронизация активности нейронов моторной коры при выполнении тонких выученных движений пальцами руки [11, 13, 99].

В исследованиях Х. Асанума была показана роль «ассоциативной активации двух входов в моторную кору – из соматосенсорной коры и вентролатерального ядра таламуса – в изменении синаптической эффективности нейронов II и III слоев моторной коры, на которых конвергируют оба входа, что является основой формирования новых связей и новых моторных навыков. При этом происходит спраунтинг и формируются новые синапсы» [4, 24, 31, 139].

Изучая соматотопическую организацию первичной моторной коры, М. Шибер выделил 6 основных ее свойств: 1) явление конвергенции от большой области моторной коры к определённому эффектору; 2) дивергенция от единичных выходов моторной коры к большому количеству спинальных нейронов; 3) горизонтальные связи между различными участками моторной коры; 4) выраженные явления общей синхронизации при незначительных по силе и амплитуде движениях; 5) повсеместная десинхронизация моторной коры приводит

к изменениям в большом количестве мелких участков тела; б) пластичность ограничивает степень контроля определённой части тела определённым участком моторной коры [170, 172].

В высшей регуляции произвольных движений важнейшая роль принадлежит переднелобным областям (передним третичным полям) [54]. Здесь помимо обычных вертикальных колонок нейронов существует принципиально новый тип функциональной единицы — в форме замкнутого нейронного кольца. Циркуляция импульсов в этой замкнутой системе обеспечивает кратковременную память. Она сохраняет в коре возбуждение между временем прихода сенсорных сигналов и формированием ответной эфферентной команды [56]. Такой механизм служит основой сенсомоторной интеграции при программировании движений, при осуществлении зрительно-двигательных реакций. Также функцией этой области коры является сознательная оценка текущей ситуации и предвидение возможного будущего, выработка цели и задачи поведения, программирование произвольных движений, их контроль и коррекция. Соответствие выполняемых действий поставленным задачам придает движениям человека определенную целесообразность и осмысленность. При поражении лобных долей движения человека становятся бессмысленными [62, 63].

При повторном выполнении произвольного движения активность возникает в одном и том же полушарии, вне зависимости от активной конечности, что может быть связано с активизацией памятного следа, а не с реальным выполнением движения [175]. Также важно отметить, что после обучения новому движению начинается процесс консолидации, который проходит градуально и длится в течение 4 часов. В этот период происходит смена максимально активированных структур: с префронтальных отделов в премоторные, заднетеменные участки и коре мозжечка. При этом, ведущее значение в консолидации памятного следа отводится моторной коре, и эта функция является для нее специфичной [177].

Функциональные нарушения активности базальных ганглиев, вызванные отмиранием дофаминэргических нейронов черной субстанции, приводят к брадикинезии, тремору, ригидности, постуральной неустойчивости и трудности и

инициацией движения [97, 126].

В ряде исследований показаны различия в механизмах обеспечения эффективности целенаправленной деятельности, в том числе особенности зрительно-моторных и аудио-моторных взаимоотношений у мужчин и женщин, определяющие ход реализации движений программного характера. Также установлено, что в исходной настройке сенсомоторной сферы у испытуемых разных полов и стратегии реализации двигательной программы на периферии имеются существенные различия [80].

Кроме того, инициированная программа двигательного акта в коре больших полушарий у мужчин обеспечивает более адекватное формирование двигательного навыка и реализуется преимущественно флексорной системой доминантной правой руки с корректирующими влияниями других мышц. У женщин, как и у мужчин, данная программа корректируется по факту совершения ошибки при ее реализации, однако она реализуется преимущественно системой сгибателей субдоминантной руки с широким привлечением нервно-мышечных структур справа и слева [105, 114].

При исследовании ритмической двигательной доминанты обнаружено изменение конфигурации межнейронных связей: происходило усиление взаимодействий взаимоудаленных нейронов преимущественно за счет влияний меньших нейронов на большие. В виду этого предполагается длительная циркуляция информации по замкнутым цепям сенсомоторной коры [2, 46, 53].

1.2. ЭЭГ - активность при выполнении двигательного акта

Спектральный анализ ЭЭГ – метод математической обработки, направленный на количественную характеристику частотных диапазонов.

Любая волна на электроэнцефалограмме имеет два количественных параметра: период ее от пика до пика, выраженные во времени (величина, обратная периоду — частота волны, Гц) и амплитуда волны (в мкВ). Спектр ЭЭГ может быть отображен через амплитуду (мкВ), и тогда это – амплитудный спектр. Другим

вариантом, более наглядным, является спектр мощности, где за мощность принято считать квадрат амплитуды волны, привязанный к временному отрезку, в котором выполнено измерение, — эпохе анализа. Значения мощности выражаются в виде показателей мкВ² или мкВ²/Гц. Первый показатель отражает «суммарную мощность» какого-либо диапазона, второй – привязан к конкретным частотам [35, 44].

Спектральный состав позволяет количественно оценить соотношение активности (ритмов) различных диапазонов частот. За выбранную эпоху анализа производится расчет общей мощности спектра по всему выбранному диапазону (например, от 0,5 до 35 Гц). Для каждого частотного диапазона (дельта, тета, альфа, бета) рассчитывается мощность диапазона, которая может быть выражена в абсолютных величинах мощности (мкВ²) или в относительных — как доля (в %) от общей мощности спектра.

Увеличение амплитуды ритма на ЭЭГ носит название синхронизации и говорит о торможении участка коры, в то время снижение его амплитуды, снятию торможения соответствует понятие десинхронизации [43, 45].

При поступлении сигнала какой-либо модальности наблюдается усиление активности в корковом представительстве первичной области восприятия, в то время в других участках, в частотности симметричной области противоположного полушария наблюдается явление синхронизации, что обуславливает работу воротного механизма. Данное явление происходит в системе зеркальных нейронов при произвольном целенаправленном движении [116, 140].

Основная задача данной системы, является подготовка к восприятию сенсорных сигналов с помощью регуляции возбудимости коры. Считается, что зеркальные нейроны занимаются «рассылкой эфферентных копий» ожидаемых сенсорных сигналов одновременно в различные области коры, при этом наблюдаются изменение амплитуды активности по пути рассылки [176].

Таким образом, при получении инструкции о выполнении движения, происходит ее осознание и формируется программа ее выполнения, которая в виде пачек импульсов рассылается в первичную и вторичную моторную кору, а также

по структурам зеркальных нейронов, при этом в этих зонах создаются условия для лучшего восприятия ожидаемых сигналов. Важно отметить, что при воображении движения наблюдается усиление активности в нейронных ансамблях, а непосредственно при его выполнении происходит торможение этих участков [89, 90].

Для корковых представительства двигательного акта характерна собственная электрическая активность в виде мю-ритма, который представляет собой редуцирование в ответ на движение конечностей [35].

Согласно последним исследованиям различных авторов, многообразие частотных и топографических границ семейства альфа-ритмов, которые имеют строгодетерминированную амплитуду и мощность осцилляций, говорит о четком функциональном значении данного ритма. Частотным диапазоном альфа-активности расположен в пределах 8–12 Гц, имеет наибольшую амплитуду в затылочной части коры, которая снижается при открывании глаз и когнитивной деятельности. В своей природе данный ритм имеет таламическое начало, в ядрах которого генерируется, веретенообразные волны каждые 100 мс и благодаря таламокортикальным связям данная активность принимает корковые проявления, в так называемых кортикальных двойниках [150, 161, 165, 190]. Альфа-осцилляции способны к самонастройке или «модуляции фазы» - подстройке одних центров по амплитуде и частоте с другими активными участками, что обуславливает их координационную способность. Хорошо выраженная альфа-активность говорит об отлаженной работе восходящих и нисходящих механизмов адаптации [144]. Основная задача данного ритма – обеспечение фона для обработки афферентной импульсации при когнитивной деятельности и неспецифической активации.

По сравнению с состоянием покоя подготовка и выполнение произвольных движений происходили на фоне снижения уровней активации почти во всех областях коры головного мозга, за исключением правой лобной области, где ЭЭГ показала явное увеличение мощности быстрых (особенно γ) частот независимо от того, какая рука использовалась для выполнения движений [148].

Выполнение движения связано с возникновением десинхронизации ритмов

ЭЭГ, преимущественно в контралатеральном конечности полушарии. При реальном и воображаемом действии возникает одинаковая ЭЭГ активность в гамма-частотном диапазоне, который может рассматриваться как специфическое проявление информационных процессов, протекающих в локальных нейронных ансамблях [133, 155, 156]. В исследованиях наблюдается рост активности гамма частот при инициализации и реализации движения руками в правой лобной доли, которая является своего рода центром координации движения. Собственно, выполнение двигательной программы приводит к всеобщему повышению активности корковых структур, о чем свидетельствует рост на ЭЭГ гамма ритма и депрессия альфа- и низкочастотных бета-волн [166, 167].

Анализ ЭЭГ совмещенный с анализом фМРТ показал одинаковую активацию корковых структур при активном и пассивном движении в альфа-диапазоне, однако при исследовании бета-волн наблюдается их десинхронизация и центры высокой активности волн данного диапазона не совпадают с их активацией на фМРТ [5, 22, 117].

При произвольном действии наблюдается нарастание когерентности в альфа- и бета-диапазоне без признаков межполушарной асимметрии, а также ее снижение в тета- и дельта-диапазонах. При исследовании спектра мощности наблюдается лишь его увеличение в бета-диапазоне и локализовано преимущественно в левом полушарии [97, 126].

Сложность движения влияет на общую активацию неокортекса и проявление синхронизации и десинхронизации, а также увеличение спектральных характеристик в альфа- и бета-диапазонах. Так достаточно простая автоматизированная деятельность может не только снижать общую активность мозга, а также ее снижать с целью более эффективной реализации. Следует отметить, что наибольшая амплитуда альфа- и бета-ритмов наблюдается спустя 1–2 секунды после завершения движения [5, 162, 181].

Тета-волны находятся в частотном диапазоне 4–8 Гц. Ряд авторов считает, что данная активность способствует кодированию, хранению и экфорированию двигательных образов [40, 44].

При выполнении реальных движений, так и при их мысленном представлении на ЭЭГ наблюдается рост гамма - частот, который более выражен при идеомоторных актах и более полно отражает пространственные особенности выполняемого движения [55, 56].

Воображение моно- и двухвекторных движений конечностей отражается дискретными паттернами в сенсомоторных ритмах ЭЭГ. Во время воображения моновекторных движений в доминантных и не доминантных конечностях имеет место полиморфизм в сенсомоторных ритмах ЭЭГ [48].

Выполнение движения в фазу планированию сопровождается изменением мощности спектра в гамма-, бета- и альфа-волн, что может говорить об усилении интегративных функций мозга, концентрации внимания и реализации задач селективного выбора. При реализации движения происходит усиление альфа- и тета-ритмов, обусловленное специфической активацией и воспроизведением существующих энграмм [47, 128, 183].

Дельта-ритм является наименее стабильным в различных вариациях выполнения движения [67]. Топографические паттерны корковой активности в лобных корковых областях, преимущественно слева, а также в симметричных теменных отведениях могут служить маркерами произвольной двигательной активности [121].

Более подробная информация о природе и значениях тета- и дельта-ритмах в изучении произвольной двигательной активности в современных исследованиях отсутствует [153].

При изучении ЭЭГ активности при реципрокной пробе наблюдается изменение когерентности преимущественно в альфа-диапазоне и принимает вид усиленного межполушарного взаимодействия в центральных и лобных долях. В других частотных диапазонах изменения носят более латерализованный характер [130, 184].

При произвольном движении наблюдается десинхронизация мю-ритма в двигательных областях коры контралатерального полушария и одновременная синхронизация альфа-ритма в этом же месте при подавлении движения. Исходя из

этого Tarotin I. V. выдвигает гипотезу о том, что подавление движения основывается на механизме общего торможения моторной активности. Этот механизм, как и его электроэнцефалографическое проявление, является общим для разных видов движений [185].

Опухолевые поражения головного мозга характеризуются смещением биоэлектрической активности коры при двигательных стимулах: наблюдается снижение когерентности альфа-активности в затылочных долях и преобладание с динамикой роста когерентности дельта- и тета-диапазонов, это может свидетельствовать об усилении вовлечения в реактивный процесс глубинных структур мозга [192].

Поражения эфферентного звена моторного акта способствуют выраженному изменению потенциалов мозга при программировании движения и отражается частотном диапазоне активности коры больших полушарий [50, 116].

Как известно, реализация движений конечностями сопряжена с формированием на уровне ЭЭГ феномена, обозначаемого как «связанная с событием десинхронизация», или Evoked Response Desynchronization (ERD) [174, 175, 176]. Последняя наиболее выражена в полушарии, контралатеральном конечности (в частности, руке), которой совершается движение [143, 174].

1.3. Исследование проявлений двигательной активности при реализации сложнскоординированных бимануальных движений

У специалистов по изучению двигательной координации нет единого метода изучения, которой в точности отражал бы внутреннюю структуру и наружные проявления двигательного акта. Определенный интерес среди российских и зарубежных ученых представляет математическое моделирование движений. Однако одним из основных приемов изучения движений человека остаются измерения и регистрация различного рода механических проявлений работы мышц, имеющих важное прикладное значение в различных областях жизнедеятельности.

Важно отметить, что такие методы как циклограмметрия во всех ее вариациях и динамометрия по-прежнему используются в современных исследованиях. Эргография, основанная на получении записей углового и линейного перемещения во времени (с учетом производимой работы) различных движениях, так же имеет популярность среди ученых. Однако, данный метод позволяет изучить лишь простые движения, по типу сгибание-разгибание и не позволяет притронуться к природе сложнскоординированных действий [74].

К сожалению, данные методики регистрирует исключительно внешнюю картинку движения, механический конечный результат той сложной координации нейромоторной деятельности, которая в первую очередь интересует физиолога. Исходя из данных внешнего проявления движения, можно сделать определенные выводы о его внутреннем устройстве.

Данные методы являются косвенными, не всегда надежными и нередко приводят к ошибочным заключениям, так как один и тот же видимый результат может достигаться различными внутренними механизмами. Для более объективного изучения двигательных функций и систем управления движения следует использовать методики, основанные на анализе электрической активности мышц и нервов.

В настоящее время для изучения бимануальной координационной работы рук у человека используется суппортметрия [95, 114, 187]. Этот способ имеет ряд преимуществ по отношению к другим методам исследования и позволяет оценить функциональное состояние опорно-двигательного аппарата и нервной системы, а также степень выраженности их изменений при проведении психофизиологических исследований, у лиц, профессионально связанных с работой, где задействована тонкая координация движений рук (врачи узких специальностей, работники часовой и радиоэлектронной промышленности, спортсмены).

Однако, как у любого другого метода исследования, у суппортметрии есть свои недостатки: 1) определение степени скоординированности движений производится в какой-либо одной плоскости, 2) нет возможности синхронного

определения характеристик пространственной координации произвольных движений обеих рук одновременно.

При анализе электрической активности коры больших полушарий при выполнении теста Ландольта у мужчин и женщин регистрируются различные показатели. Так у женского пола общая активность мозга выше, а также у них лучше выражена регуляция тонкой моторики пальцев рук и взаимодействие между полушариями выражено сильнее. В то время как у мужского пола регистрируется рост электрической активности локально, в определённых активных участках [1].

Таким образом, несмотря на большое количество работ по изучению двигательной активности, к настоящему времени недостаточно освещен вопрос о формировании программ двигательного акта, топографической локализации и задействованию центров, отвечающих за их инициацию и коррекцию, а также о корреляционных взаимосвязях этих нейронных ансамблей.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Общая характеристика исследования

Диссертационная работа выполнена на базе лаборатории физиологии сенсорных систем и психофизиологии научно-исследовательского института физиологии, объединенного с однопрофильной кафедрой федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Министерства Здравоохранения Российской Федерации.

Объектом исследования стали практически здоровые студенты мужского и женского пола с умеренной степенью эмоциональных переживаний в возрасте от 18 до 22 лет. Участниками эксперимента было дано добровольное информированное письменное согласие на участие в исследовании.

Для достижения цели и решения поставленных задач были использованы следующие методы (Таблица 1):

1. Электроэнцефалография – метод регистрации биоэлектрических явлений в головном мозге.
2. Суппортметрия – метод определения бимануальной произвольной активности.
3. Статистическая обработка данных

Таблица 1 – Общий объем исследования

| № | Серия исследования | Количество исследуемых | | |
|-------|---|------------------------|---------|-------|
| | | Мужчины | Женщины | Всего |
| 1. | Запись электроэнцефалограммы фоновом режиме | 53 | 51 | 104 |
| 2. | Запись электроэнцефалограммы при выполнении произвольного целенаправленного движения | 54 | 49 | 103 |
| 4. | Исследование уровня бимануальной координации при произвольном целенаправленном движении | 61 | 57 | 118 |
| 5. | Исследование эмоционального состояния с помощью шкалы К. Изарда | 72 | 61 | 133 |
| Итого | | 240 | 218 | 458 |

2.2. Методика исследования биоэлектрических потенциалов головного мозга

Электроэнцефалография – метод регистрация биоэлектрических потенциалов, создаваемых нейронами головного мозга. В совокупности эти электрические генераторы создают поле, которое неоднородно по пространству головного мозга и изменчиво в каждый момент времени. В виду этого между точками, расположенными в пределах мозга и удаленной от него тканью организма, существует разница потенциалов, что и регистрируется с помощью данного метода [44, 45].

Исследование проводили в лаборатории НИИ физиологии находящейся на одноименной кафедре ФГБОУ ВО «Курского государственного медицинского университета» Минздрава России.

Перед исследованием, испытуемому объясняли суть метода, излагали порядок процедуры регистрации ЭЭГ, отмечали ее безболезненность и безвредность, после чего подписывали добровольное информированное согласие на участие в эксперименте.

Во время проведения процедуры записи ЭЭГ, исследуемый находился в

положении сидя на кресле со специальным подголовником, в расслабленном состоянии. Для чистоты записи и исключения артефактов в лаборатории были обеспечены звуко- и светоизоляция.

Исследование проводили с помощью электроэнцефалографа-анализатора ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131–03» (Таганрог, Россия).

ЭЭГ записывалось от отведений, расположенных на волосистой части головы и экстракраниальных точек расположенных на мочках ушей. Каждый электрод, наложенный на зону скальпа, регистрирует суммарный биопотенциал, образованный изменением потенциалов действия множества нервных клеток, расположенных под ним.

Для регистрации использовали чашечковые электроды, которые имеют форму диска с приподнятыми краями, к которому припаян провод. Чашечка заполнялась контактной электродной пастой, в состав которой входит раствор хлорида натрия, желеобразные связующие, а также некоторые вещества, размягчающие верхние слои эпидермиса. Электрод закрепляли на поверхности головы с помощью специальной резиновой шапочки. Перед наложением электрода, для снижения сопротивления в области контакта с кожей, волосы раздвигали и тщательно протирали спиртом.

Для монтажа электродов использовали международную схему наложения отведений «10-20». Место расположения электродов по системе «10-20» определяется следующим образом: по сагиттальной линии измеряется расстояние от *inion* до *nasion* принимаемое за 100%. Затылочные электроды (лат. *occipitalis*, O1, O2) устанавливаются на 10% этого расстояния вверх от *inion*, а лобные электроды (лат. *frontalis*, *pre-frontalis*, Fp) – вверх от *nasion*. Электроды Fz, Cz и Pz также устанавливаются по сагиттальной линии – первой основной линии, на равном друг от друга расстоянии.

Вторая основная линия соединяет слуховые проходы и проходит через вертекс. По этой линии определяется место расположения средневисочных отведений (лат. *temporalis*, T3 и T4) на 10% этого расстояния от слуховых проходов. Остальные электроды по этой линии (лат. *centralis*, C3, Cz и C4) располагаются на

равных расстояниях друг от друга, составляющих 20% от длины этой линии.

Третья линия – это окружность головы. Затылочные электроды O1 и O2 располагаются выше *inion* на расстоянии 10% от длины сагиттальной линии и влево/вправо на 10% от полуокружности головы. Нижнелобные электроды (Fp1, Fp2) располагаются выше *nasion* на расстоянии 10% от длины сагиттальной линии и влево/вправо на 10% от полуокружности головы. По линии, соединяющей Fp1, C3 и O1, располагаются электроды F3 и P3, а по линии Fp2, C4 и O2 – электроды F4 и P4 на равных друг от друга расстояниях. Электроды T5, T6, F7, F8 располагаются по линии окружности головы, проходящей по точкам T3 и T4, на равных друг от друга расстояниях (20% от полуокружности головы). На мочках ушей располагаются индифферентные электроды, обозначаемые как A1 и A2 (лат. *auriculares*).

Исследование проводилось путем записи электроэнцефалограммы в течение 2,5 минут. Показатель электродного импеданса не превышал 20 кОм, чувствительность установлена 7 мкВ/мм. Дальнейшая компьютерная обработка сигнала проводилась методом быстрого преобразования Фурье, с усреднением не менее 30 эпох по 2 сек.

Исследование проводили в несколько этапов. Первый этап – запись фоновой ЭЭГ в спокойном расслабленном состоянии. Второй этап – запись ЭЭГ сразу после выполнения задания суппортметрии.

Для анализа использовались зарегистрированные волны мозговой активности приблизительно одной одинаковой частоты называемые ритмом. В электроэнцефалограмме выделяют несколько основных ритмов: альфа-ритм, бета-ритм, дельта-ритм, тета-ритм, гамма-ритм и мю-ритм.

Альфа-ритм характеризуется хорошо модулированной высокоамплитудная (средняя амплитуда волн 60–80 мкВ) ритмическая активность в диапазоне частот 7,5–13 Гц. У взрослых здоровых испытуемых данный ритм регистрируется в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах преимущественно в теменно-затылочных областях мозга. Депрессия альфа-ритма свидетельствует об общей активации коры головного мозга. Открывание глаз или умственная

активность обычно сопровождаются депрессией альфа-ритма. Важной особенностью альфа-активности является ее функциональная асимметрия при различных когнитивных и эмоциональных нагрузках.

Бета-ритм подразделяется на высокочастотный (частота ритма 26–35 Гц) и низкочастотный (частота ритма 14–25 Гц), амплитуда данного ритма достигает до 15 мкВ. Он хорошо выражен в лобной и височной областях. Как синхронизация, так и десинхронизация бета-активности связывается многими авторами с различными типами эмоций и когнитивных процессов. Синхронизацию бета-ритма в лобных областях связывают с процессами внимания.

К дельта-ритму относятся волны ЭЭГ в диапазоне частот 0,5–3,5 Гц. В ЭЭГ здорового взрослого человека в состоянии бодрствования дельта-ритм может присутствовать только в очень небольшом количестве – его амплитуда не превосходит 40 мкВ (обычно около 20 мкВ). Дельта-ритм является основным ритмом медленноволнового сна, когда его амплитуда достигает 300 мкВ и более.

Тета-ритм характеризуется частотой от 4 до 7 Гц и варьирует по амплитуде и морфологии. Приблизительно в одной трети случаев у здоровых молодых взрослых в состоянии бодрствования выявляется интермиттирующий тета-ритм, частотой 6–7 Гц, амплитудой <15 мкВ, максимально выраженный в лобных или лобно-центральных областях. Тета-активность в лобных областях может усиливаться при эмоциях, концентрации внимания, при решении интеллектуальных задач. Тета-активность в норме усиливается при гипервентиляции, в состоянии дремоты и во сне. Интермиттирующая активность частотой 4–5 Гц, битемпоральная, или даже с односторонним преобладанием (обычно слева больше, чем справа), может возникать примерно в одной трети случаев у пожилых людей при отсутствии клинических проявлений и не считается патологической.

Уменьшение амплитуд колебаний потенциалов без изменения их частотной характеристики называют депрессией ритма. Процесс, выражающийся в формировании регулярной, упорядоченной ритмической активности и нарастании амплитуды колебаний, называют синхронизацией ритма. Нарушение ритмичности протекания волновых процессов ЭЭГ с замещением упорядоченной синхронной

волновой активности колебаниями, менее регулярными, разной частоты и меньшей амплитуды, называют десинхронизацией [44, 45].

2.3. Методика исследования координации произвольных целенаправленных движений

В начале эксперимента всем исследуемым предстояло пройти тест на определение профиля доминирующего полушария. Тест состоял из 4-х действий, которые выполнялись последовательно по команде исследователя. Первое задание состояло в сплетение пальцев рук в замок, оценивалось положение больших пальцев рук. Второе задание заключалось в «прицеливании в невидимую мишень», при этом фиксировали какой глаз закрывал подопытный. В третьем задании предлагалось занять позу «Наполеона», со скрещенными руками на груди, отмечали верхнее положение кисти руки. Четвертое задание, «аплодировали», смотрели какая рука будет ударной. По итогу результатов всех выполненных заданий, оценивали доминирующее полушарие [17, 23, 421, 82, 120].

Координацию произвольных целенаправленных бимануальных движений определяли объективным методом суппортметрии. В основе метода лежит использование модифицированного суппорта токарного станка, с помощью специальных микросхем соединенный с компьютером, на котором установлено специально разработанное программное обеспечение. Общий вид данного устройства представлен на Рисунке 1 [105, 114].

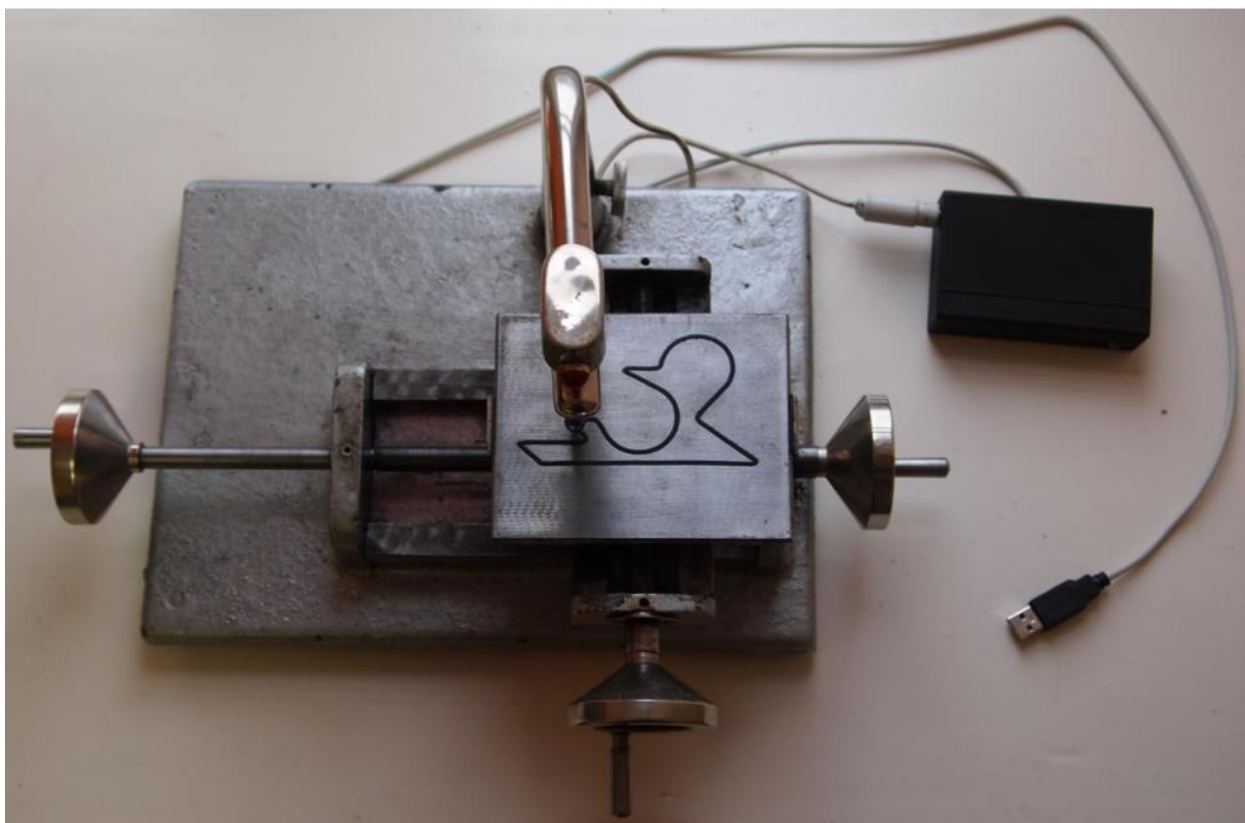


Рисунок 1 – Общий вид установки для суппортметрии

В начале эксперимента все испытуемые получали следующую инструкцию. «Манипулируя приводами одновременно двумя руками, необходимо провести контур относительно стержня-индикатора. В случае схода стержня с контура компьютером подается звуковой сигнал. В этом случае необходимо быстро среагировать на сбой, исправить ошибку (вернув стержень-индикатор на контур) и продолжить движение. Необходимо пройти контур как можно быстрее и с меньшим количеством ошибок».

В рамках проведения этого испытания предлагалось пройти четыре трека в определенном порядке, представленном на Рисунке 2.

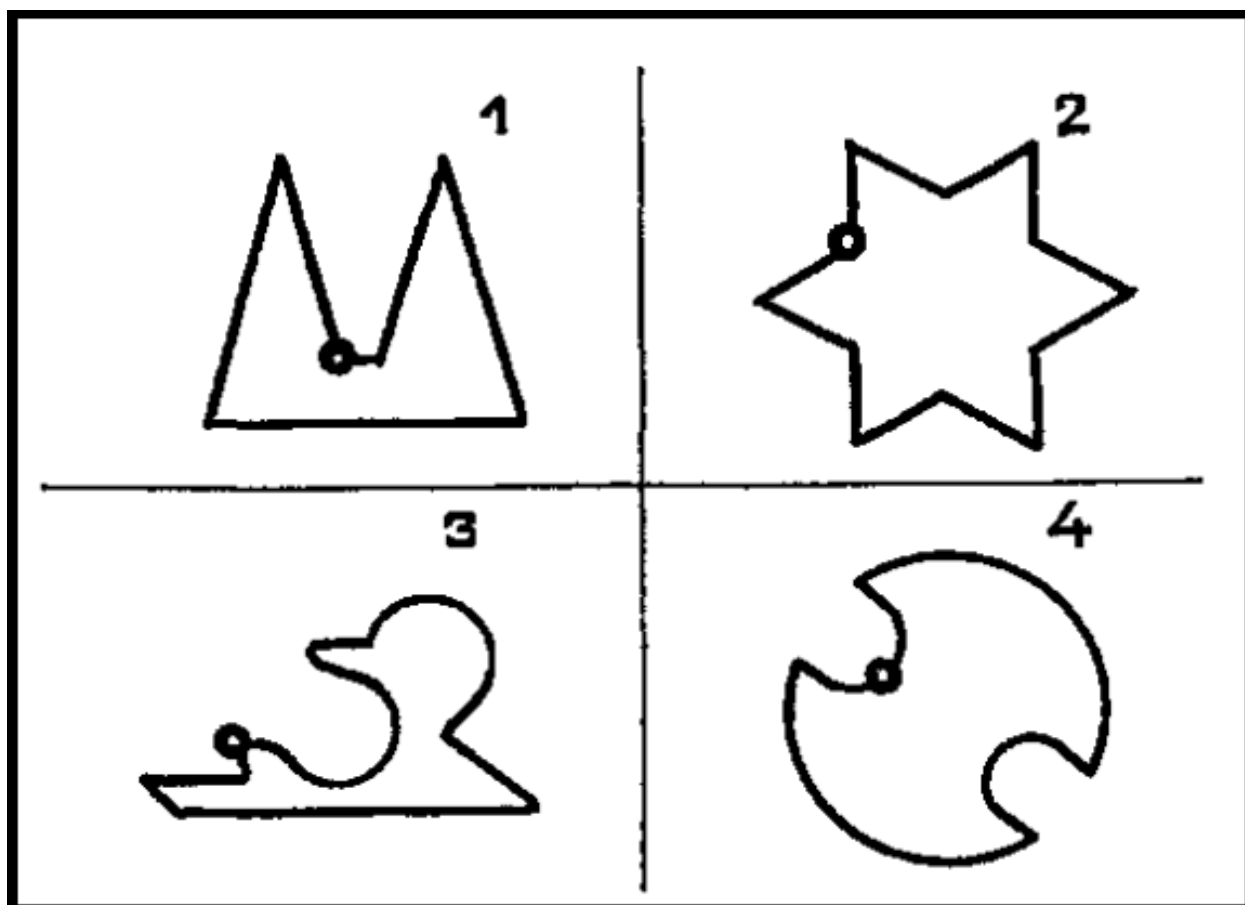


Рисунок 2 – Задания для суппортметрии и порядок их предъявления

Размер пластин с нанесенными контурами треков составлял 9,5*12 см. Суммарная протяженность контура первого задания составила – 325 мм, второго – 290 мм, третьего – 335 мм и четвертого – 310 мм.

Каждый трек имеет различную степень сложности. Так большое количество углов, дуг, полуокружностей заставляют наш координационный аппарат на всех его уровнях работать интенсивнее. Из представленных заданий самым сложным будет являться трек №3, самым простым трек №1, треки № 2 и 4, занимают промежуточное положение.

Компьютерная регистрация и обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения «Суппорт 1.0» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2010616159 от 17.09.2010. Авторы: Михайлов И.В., Ткаченко П.В., Бобынцев И.И.).

Компьютерная программа в качестве заключения формирует итоговый протокол исследования, в котором отражается информация о месте и времени

исследования, данных об испытуемом, а также полученные результаты в ходе выполнения задания с возможностью комментирования и внесения изменений. Показатели, определяемые в ходе проведения опыта представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Показатели бимануального произвольного движения

| Показатель | Характеристика | Размерность |
|--|--|------------------------|
| ОВ | Общее время выполнения задания | сек |
| ВНК | Время на контуре задания | сек |
| ВВК | Время вне контура задания | сек (до десятых долей) |
| КО | Количество ошибок (сходов с трека) | ед. |
| ИПК | Интегральный показатель координации, рассчитывается по формуле: $ИПК = (3600 - ВВК * КО) / ОВ$ | ед. |
| СК | Скорость выполнения задания. Отношение длины контура к ОВ | мм/сек |
| СР | Скорость реакции. Отношение ВВК к КО | ед. |
| Примечание – 3600 – эмпирически выведенный коэффициент, обеспечивающий смещение ИПК в область значений, расширяющую его границы и обеспечивающую наиболее адекватные условия его статистической обработки. | | |

2.4. Методика определения доминирующего эмоционального состояния

Для определения доминирующего эмоционального состояния у взрослых и детей используется шкала дифференциальных эмоций (ШДЭ) К. Изарда. В основу этой методики заложено выделение 10 базовых эмоций человека, которые имеют центральное значение для мотивации, социальной коммуникации, познания и действия. В опроснике основные эмоции представляют из себя тестовую шкалу, и каждая имеет три градации (три пункта опросника). Исследуемый должен по 4-х бальной шкале оценить в какой степени каждое понятие опросника описывает его текущее состояние.

В результате подсчитывается сумма баллов и отношение положительных эмоций и отрицательных по формуле:

$$КС = \frac{C1+C2+C3+C9+C10}{C4+C5+C6+C7+C8}, \quad (1)$$

где КС – коэффициент самочувствия: если $КС \geq 1$ – положительное самочувствие; если $КС \leq$ отрицательное самочувствие.

2.5. Статистическая обработка данных

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 2.8.5 (разработчик - ООО «Статтех», Россия).

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе исследуемых более 50) [81].

Метод Шапиро-Уилка основан на регрессионном анализе порядковых статистик по их ожидаемым значениям. Это критерий типа дисперсионного анализа для полной выборки. Статистика критерия – отношение квадрата суммы линейной разности выборочных порядковых статистик к обычной оценке дисперсии [21, 333, 122].

Критерий Колмогорова-Смирнова позволяет найти точку, в которой сумма накопленных расхождений между двумя распределениями является наибольшей, и оценить достоверность этого расхождения [30, 33].

В качестве метода сравнения средних величин при нормальном распределении выборки использовали парный двухвыборочный критерий Стьюдента (t-критерий). Фактическое значение t-критерия Стьюдента рассчитывается как отношение разности 2-х выборочных средних к стандартной ошибке этой разнице. При этом очевидно, что чем больше разность между средними значениями 2-х выборок и чем меньше стандартная ошибка этой разности, тем больше вероятность того, что 2 выборки достоверно различаются между собой по средней тенденции [75, 76].

В случае неоднородности выборки и неправильного распределения был использован непараметрический U критерий Манна-Уитни. Для вычисления данного необходимо ранжировать элементы общей выборки: составить единый ряд из элементов двух выборок, упорядочить элементы, присвоить каждому элементу свой ранг (т. е. порядковый номер в упорядоченной выборке) [36].

В случае, если в ряде присутствуют повторяющиеся наблюдения, то им приписывается одинаковый ранг равный. Затем вновь формируется два ряда, состоящие из наблюдений первой и второй выборки.

Критерий Манна-Уитни основан на результате попарного сравнения элементов первой и второй выборок:

$$U = \sum_{i,j} I(X_i < Y_j), \quad (2)$$

где индикатор I равен 1 в случае, если $X_i < Y_j$.

Изменяя i от 1 до n и j от 1 до m , получим mn парных сравнений выборок X и Y . Число успехов в этих парных сравнениях обозначим через U . Полученное значение сравнивается с критическим $U_{кр}$ для заданного уровня значимости α .

Направление и теснота корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивались с помощью коэффициента корреляции Пирсона (при нормальном распределении сопоставляемых показателей). Данный показатель показывает наличие линейной связи между признаками и устанавливает тесноту этой связи. Значения показателя находятся в интервале от -1 до 1, знак перед значением указывает на прямой или обратный тип связи, т. е. если знак коэффициента корреляции положительный, то большему значению одного признака будет соответствовать большее значение другого признака (при увеличении показателя одного признака, будет увеличиваться показатель другого). Если коэффициент корреляции имеет отрицательный знак, то большему значению показателя одного признака соответствует меньшее значение показателя другого признака (при увеличении значение одного происходит уменьшение значений другого признака). Коэффициент корреляции Пирсона

вычисляется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma(x) \cdot \sigma(y)}, \quad (3)$$

где x_i – значения, принимаемые в выборке X , y_i – значения, принимаемые в выборке Y ; \bar{x} – среднее значение по X , \bar{y} – среднее значение по Y .

В случае если выборка имела распределение отличное от нормальной, для оценки направления и тесноты корреляционной связи мы использовали методы непараметрической статистики, в частности коэффициент ранговой корреляции Спирмена. В основу данного метода заложен принцип нумерации значений статистического ряда. Каждой единице совокупности присваивается порядковый номер в ряду, который будет упорядочен по уровню признака. Таким образом, ряд значений признака ранжируется, а номер каждой отдельной единицы будет ее рангом.

Коэффициент корреляции рангов Спирмена основан на рассмотрении разности рангов значений факторного и результативного признаков:

$$\rho = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (4)$$

где $d_i = x_i - y_i$ - разность между рангами; n – количество наблюдаемых значений признака.

Полученный показатель будет находиться в интервале от -1 до 1 (как и коэффициент корреляции Пирсона), знак перед значением будет определять направление связи. Для оценки силы связи в теории корреляции применяется шкала английского статистика Чеддока: слабая – от 0,1 до 0,3; умеренная – от 0,3 до 0,5; заметная – от 0,5 до 0,7; высокая – от 0,7 до 0,9; весьма высокая (сильная) – от 0,9 до 1,0.

Прогностическая модель, характеризующая зависимость количественной переменной от факторов, разрабатывалась с помощью метода линейной регрессии. Для создания регрессионных моделей применялись только те пары признаков, которые имели статистически значимый коэффициент корреляции. Для этих показателей были построены корреляционные поля, позволяющие визуально оценить степень зависимости, а также дисперсию исследуемых признаков [25]. Вычисление коэффициентов регрессии проводилось на основе построения линии регрессии (тренда), максимально приближенной к фактическому распределению признаков [86, 119].

Линейная регрессия для x и y сводится к нахождению уравнения вида:

$$y_x = a + b \cdot x, \quad (5)$$

где y_x – теоретическое значение искомого признака, x – фактическое значение связанного, a и b – константы, которые вычисляются по формулам.

Данный метод позволяет по заданным значениям фактора x находить теоретические значения результативного признака, подставляя в него фактические значения фактора x . Построение линейной регрессии сводится к оценке её параметров – a и b . Классический подход к оцениванию параметров линейной регрессии основан на методе наименьших квадратов (МНК), который позволяет получить такие оценки параметров a и b , при которых сумма квадратов отклонений фактических значений результативного признака y от теоретических значений x у минимальна [76,1222].

Таким образом, из всего множества линий линия регрессии на графике выбирается так, чтобы сумма квадратов расстояний по вертикали между точками и этой линией была бы минимальной.

ГЛАВА 3. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО СЛОЖНОСКООРДИНИРОВАННОГО БИМАНУАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

3.1. Координация произвольной двигательной активности рук в группе испытуемых женского пола

В Таблице 3 представлены средние значения характеристик координации при выполнении первого, второго, третьего и четвертого заданий суппортметрии испытуемых женского пола.

Таблица 3 – Средние значения показателей координации движений рук в группе испытуемых женского пола ($M \pm SD / Me$)

| Показатель | ОВ | ВНК | ВБК | КО | ИПК | СК |
|---|----------------------|----------------------|------------|------------|------------|-------------------|
| Задание № 1 | 253 ± 54 (M ± SD) | 239 ± 51 (M ± SD) | 10 (Me) | 18 (Me) | 14 (Me) | 1 ± 0 (M ± SD) |
| Задание № 2 | 310 (Me) | 277 (Me) | 37 (Me) | 46 (Me) | 6 (Me) | 1 ± 0 (M ± SD) |
| Задание № 3 | 269 ± 60 (M ± SD) | 240 ± 60 (M ± SD) | 25 (Me) | 30 (Me) | 11 (Me) | 1 ± 0 (M ± SD) |
| Задание № 4 | 272 (Me) | 249 (Me) | 31 (Me) | 47 (Me) | 9 (Me) | 1 ± 0 (M ± SD) |
| Примечание – ОВ – общее время выполнения задания, ВНК – время нахождения маркера на контуре задания, ВБК – время нахождения маркера вне контура задания, КО – количество ошибок, ИПК – интегральный показатель координации, СК – индивидуальная скорость выполнения задания; M – среднее значение, SD – стандартное отклонение, Me – медиана. | | | | | | |

Для выборки с нормальным распределением значений мы высчитывали среднее значение этих данных (M) и их средние отклонения (SD). Если выборка имела ненормальное распределение, для более точного и корректного подсчета использовали медиану (Me).

При сравнении общего времени выполнения первого и третьего заданий наблюдается увеличение данного показателя на 6% с, что объясняется увеличением

протяженности трека. При сравнении второго и четвертого заданий наблюдается снижение показателя общего времени на 12%. Так при сравнении средних величин и медиан показателей общего времени прохождения трека установлено, что второе задание представилось наиболее трудным, быстрее на 12% справились испытуемые с четвертым заданием. Самым легким оказалось первое задание, на его выполнение уходило на 18% времени меньше относительно четвертого трека. На основании вышесказанного установлено, что длина трека не является определяющим критерием в формировании координационных программ обеих рук, а ведущее место занимает количество углов и полудуг.

Сравнение показателей времени на контуре трека и вне контура трека показывает аналогичные выводы. Второе задание представляется самым сложным из представленных, при выполнении четвертого задания показатели ВНК и ВВК на 10% и 16% ниже соответственно. Самым простым оказалось первое, показатели на 14% и 73% ниже самого сложного трека, третье задание заняло промежуточное положение между первым и четвертым треками.

При сравнении медиан показателей по количеству совершенных ошибок сложилась иная картина. Больше всего ошибок было допущено при выполнении четвертого и второго заданий, при выполнении третьего задания этот показатель ниже на 36%, при выполнении первого задания ниже 62%. Исходя из этого можно предположить, что при наличии большого количества углов и поворотов увеличивается количество ошибок, что может означать меньшую скорость реакции, а значит менее гибкую перестройку паттернов движения.

Ключевым показателем в анализе будет интегральный показатель координации, который высчитывается по формуле и будет отражать соотношение вышеперечисленных критериев. На основании его значений выявлено, что второе задание, является наиболее сложным, так как имеет самый низкий интегральный показатель и говорит о сложностях при прохождении трека, большом количестве ошибок и времени на их устранения. Первое задание для испытуемых женского пола представляется самым простым, в нем допускается наименьшее количество ошибок и времени на их устранение.

3.2. Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения показателей координации произвольной двигательной активности рук у испытуемых женского пола

Нами был проведен корреляционный анализ показателей ВНК и ИПК (так как именно эти показатели в полной мере характеризуют координацию произвольной двигательной активности), в зависимости от выполняемого задания. Полученные результаты представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Корреляционные взаимосвязи между показателями ВНК при выполнении различных заданий у испытуемых женского пола (ρ – коэффициент корреляции Спирмена, p – показатель статистической значимости)

| Показатель | Характеристика корреляционной связи | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| ВНК - 1 задание – ВНК - 2 задание | 0,702 | Высокая | < 0,001 |
| ВНК - 1 задание – ВНК - 3 задание | 0,663 | Заметная | < 0,001 |
| ВНК - 1 задание – ВНК - 4 задание | 0,796 | Высокая | < 0,001 |
| ВНК - 2 задание – ВНК - 3 задание | 0,722 | Высокая | < 0,001 |
| ВНК - 2 задание – ВНК - 4 задание | 0,661 | Заметная | < 0,001 |
| ВНК - 3 задание – ВНК - 4 задание | 0,770 | Высокая | < 0,001 |

При изучении связи показателей времени нахождения на контуре трека при выполнении первого задания и второго, третьего, четвертого заданий установлена статистически значимая прямая корреляционная связь ($p < 0,001$). Это значит, что при увеличении показателя ВНК при выполнении первого задания, показатели ВНК при выполнении других заданий будут увеличиваться. Причиной этому является то, что моторные программы инициируются в одних и тех же участках коры головного мозга. Об этом также свидетельствуют данные об установленных связях между

вторым и третьим, четвертым заданиями и связях между заданиями третьим и четвертым треками.

Как сказано выше, интегральный показатель координации более точно характеризует произвольное бимануальное движение, соответственно корреляционные взаимоотношения этого значения позволят более качественно оценить взаимосвязь (Таблица 5).

Таблица 5 – Корреляционные взаимосвязи между показателями ИПК при выполнении различных заданий у испытуемых женского пола (ρ – коэффициент корреляции Спирмена, p – показатель статистической значимости)

| Показатель | Характеристика корреляционной связи | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| ИПК - 1 задание – ИПК - 2 задание | 0,366 | Умеренная | 0,040 |
| ИПК - 1 задание – ИПК - 3 задание | 0,493 | Умеренная | 0,004 |
| ИПК - 1 задание – ИПК - 4 задание | 0,394 | Умеренная | 0,026 |
| ИПК - 2 задание – ИПК - 3 задание | 0,861 | Высокая | < 0,001 |
| ИПК - 2 задание – ИПК - 4 задание | 0,557 | Заметная | < 0,001 |
| ИПК - 3 задание – ИПК - 4 задание | 0,672 | Заметная | < 0,001 |

Изучение связей интегрального показателя координации движений при выполнении первого задания и второго, третьего, четвертого заданий были установлены прямые статистически значимые корреляционные связи ($p=0,040$; $p=0,004$; $p=0,26$ соответственно). Между показателями ИПК при выполнении второго задания и третьего, четвертого заданий также установлены прямые статистически значимые связи ($p < 0,001$). Аналогичные показатели выявляется между третьим и четвертым заданиями.

Опираясь на различия в показателях статистической значимости и силе связи по шкале Чеддока, можно сделать вывод о том, что корреляционные связи между вторым заданием и третьим, четвертым заданиями, а также третьим заданием и

четвертым заданием сильнее, чем у первого и остальных заданий. На основании полученных данных и выводах из предыдущей главы о том, что второе задание является наиболее сложным их всех можно предположить, что во время прохождения второго трека вырабатывается корректирующая двигательная программа в коре головного мозга, которая используется в последующих тестах.

3.3. Координация произвольной двигательной активности рук в группе испытуемых мужского пола

В Таблице 6 представлены данные средних значений характеристик координации при выполнении первого, второго, третьего и четвертого заданий суппортметрии испытуемых мужского пола.

Для выборки с нормальным распределением значений мы высчитывали среднее значение этих данных (M) и их средние отклонения (SD). Если выборка имела ненормальное распределение, для более точного и корректного подсчета использовали медиану (Me).

Таблица 6 – Средние значения показателей координации движений рук в группе испытуемых мужского пола (M ± SD / Me)

| Показатель | ОВ | ВНК | ВБК | КО | ИПК | СК |
|-------------|----------------------|----------------------|------------|------------|--------------------|-------------------|
| Задание № 1 | 207 (Me) | 204 (Me) | 4 (Me) | 9 (Me) | 17 ± 4 (M ± SD) | 2 (Me) |
| Задание № 2 | 217 (Me) | 205 (Me) | 15 (Me) | 20 (Me) | 14 ± 4 (M ± SD) | 1 ± 0 (M ± SD) |
| Задание № 3 | 217 (Me) | 210 (Me) | 10 (Me) | 16 (Me) | 16 (Me) | 2 ± 0 (M ± SD) |
| Задание № 4 | 224 ± 64 (M ± SD) | 214 ± 50 (M ± SD) | 15 (Me) | 20 (Me) | 14 (Me) | 1 ± 0 (M ± SD) |

Примечание – ОВ – общее время выполнения задания, ВНК – время нахождения маркера на контуре задания, ВБК – время нахождения маркера вне контура задания, КО – количество ошибок, ИПК – интегральный показатель координации, СК – индивидуальная скорость выполнения задания; M – среднее значение, SD – стандартное отклонение, Me – медиана.

При анализе различий между медианами и средними значениями показателей

координации, которые были получены при выполнении различных заданий, нами были получены следующие результаты. Величина медианы показателя общего времени при выполнении второго и третьего заданий выше на 5%, чем при выполнении первого задания. Среднее значение данного показателя при прохождении четвертого трека равно 224 с. Сравнение медиан параметра времени нахождения маркера вне контура показало, что данный показатель при прохождении третьего контура превышает аналогичные параметры чем при выполнении второго задания на 2%, при выполнении первого задания на 3%. При прохождении четвертого трека среднее значение 214 с.

Значения времени нахождения маркера на контуре задания во всех заданиях имело ненормальное распределение и при сравнении медиан было установлено, что второе и четвертое задания имеют одинаковые значения, при прохождении третьего трека показатель ниже на 33%, а первого задания на 73%. Распределение медиан по количеству ошибок имеет аналогичное состояние. Наибольшее количество ошибок зарегистрировано при выполнении второго и четвертого заданий, наименьший показатель при выполнении первого задания и промежуточное значение имеет третий контур.

Исходя из полученных данных, среднее значение наибольшего интегрального показателя координации соответственно принадлежит первому заданию. При выполнении второго задания показатель ниже на 18%. При сравнении медиан параметра ИПК в третьем задании выше, чем при прохождении третьего трека на 13%.

Установлено, что четвертое задание по всем показателям превосходит свои аналоги и для лиц мужского пола является наиболее сложным. Данный трек характеризуется большим количеством полудуг, что приводит к формированию координационных программ за счет формирования обратной афферентации. При выполнении данного задания этот процесс является наиболее сложным и подвергается торможению другими структурами мозга. Также может сказываться утомление центров координации в виду того, что данное задание является последним в серии испытаний. Самым легким является первый контур, при

котором наблюдается наивысшая координационная деятельность. Второе и третье задание занимают промежуточное значение, при чем по многим характеристикам второй трек, который характеризуется большим количеством углов и поворотов, очень близко к четвертому.

3.4. Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения показателей координации произвольной двигательной активности рук у испытуемых мужского пола

Нами был проведен корреляционный анализ показателей ВНК и ИПК (так как сказано выше, эти показатели в полной мере могут охарактеризовать координацию произвольной двигательной активности), в зависимости от выполняемого задания. Полученные результаты представлены в Таблице 7.

Таблица 7 – Корреляционные взаимосвязи между показателями ВНК при выполнении различных заданий у испытуемых мужского пола (ρ – коэффициент корреляции Спирмена, p – показатель статистической значимости)

| Показатель | Характеристика корреляционной связи | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| ВНК - 1 задание – ВНК - 2 задание | 0,739 | Высокая | < 0,001 |
| ВНК - 1 задание – ВНК - 3 задание | 0,514 | Заметная | 0,007 |
| ВНК - 1 задание – ВНК - 4 задание | 0,629 | Заметная | < 0,001 |
| ВНК - 2 задание – ВНК - 3 задание | 0,676 | Заметная | < 0,001 |
| ВНК - 2 задание – ВНК - 4 задание | 0,699 | Заметная | < 0,001 |
| ВНК - 3 задание – ВНК - 4 задание | 0,823 | Высокая | < 0,001 |

При анализе взаимосвязи значений времени нахождения на контуре трека в рамках произведения первого задания и второго, четвертого заданий установлена

статистически значимая прямая корреляционная связь ($p < 0,001$). Это значит, что при увеличении показателя ВНК при прохождении первого трека, показатели ВНК при выполнении других треков будут увеличиваться. Это свидетельствует о том, что моторные программы иницируются в одних и тех же участках коры головного мозга. Об этом также свидетельствуют данные об установленных связях между заданиями вторым и третьим, четвертым и связях между треками третьим и четвертым. Показатель корреляционных взаимоотношений времени нахождения на контуре задания при прохождении первого и третьего контура имеет более низкую степень достоверности ($p < 0,007$), однако также является статистически значимым.

Опираясь на различия в показателях статистической значимости и силе связи по шкале Чеддока, корреляционные связи между первым и вторым заданиями, а также при прохождении третьего и четвертого треков являются наиболее выраженными. Самый минимальный результат показывает связь между первым и третьим контурами. Остальные значения занимают промежуточное положение. Как сказано выше, четвертое задание является наиболее сложным из всех, а первый трек самым простым для лиц мужского пола, можно предположить, что изначальная преднастройка, а именно разработка программы двигательного акта перед началом ее выполнения исходя из анализа задания оказывает значительное влияние на координацию движений. В виду того, что по всем показателям прохождения треков № 1 и 3 являются наиболее легким, а после них следуют треки №2 и 4, а также опираясь на самые сильные корреляционные связи по шкале Чеддока между упражнениями 1,2 и 3,4 можно предположить на более легких упражнениях происходит активное программирование моторной деятельности, ее сонстройка и корректировка за счет обратной афферентации, а также подготовка всех звеньев двигательного акта к выполнению более сложноскоординированных движений.

3.5. Сравнительная характеристика средних показателей произвольной двигательной активности рук в женской и мужской группах исследования

Был проведен сравнительный анализ средних значений показателей

суппортметрии между испытуемыми женского и мужского пола при выполнении первого задания (Рисунок 3). Сравнивались показатели ВВК и КО, так только в этих группах совпадали разновидности средних значений.

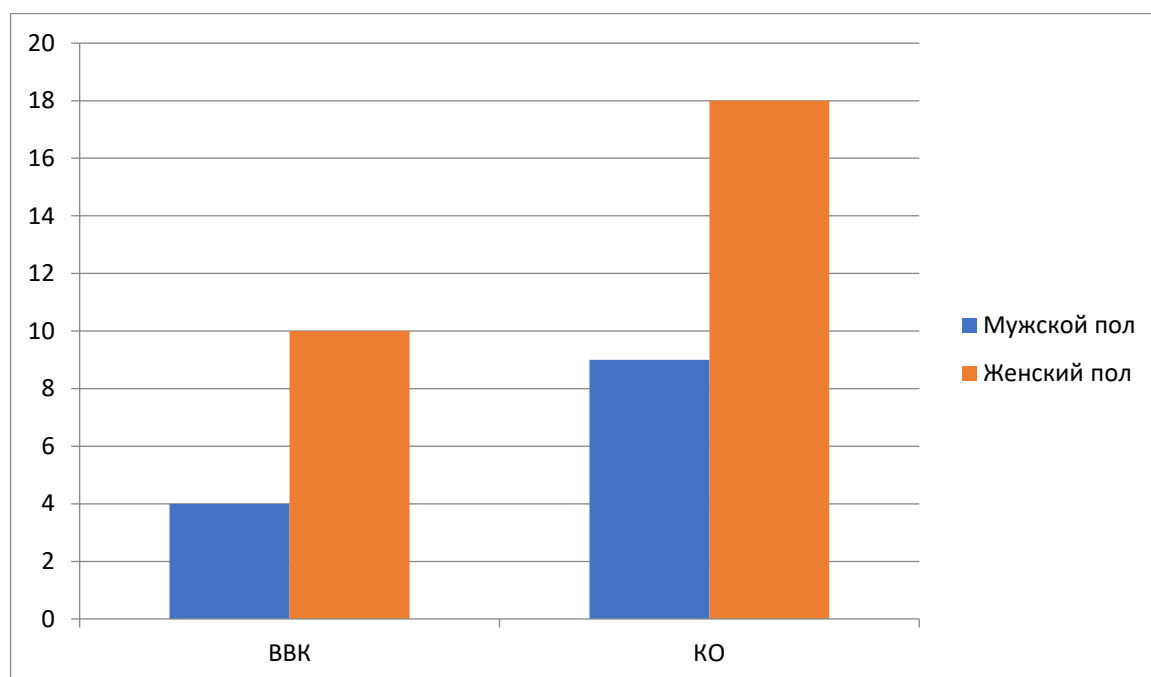


Рисунок 3 – Сравнительный анализ показателей суппортметрии при выполнении первого задания у лиц женского и мужского пола

Исходя из полученных средних значений в выборках испытуемых, нами было проведено сравнение показателей медиан (Me) по критериям времени нахождения вне контура задания (ВВК) и количества ошибок (КО). Анализ показал, что показатель ВВК у лиц женского пола на 250% превышает такой же показатель у мужчин, а количество допущенных ошибок у женщин на 200% больше, чем у мужчин. Исходя из этого можно сделать вывод, что преднастройка двигательной программы у мужчин выполнена лучше, что обеспечило более точную работу при прохождении трека.

При сравнении параметров выполнения задания № 2 были получены следующие результаты (Рисунок 4).

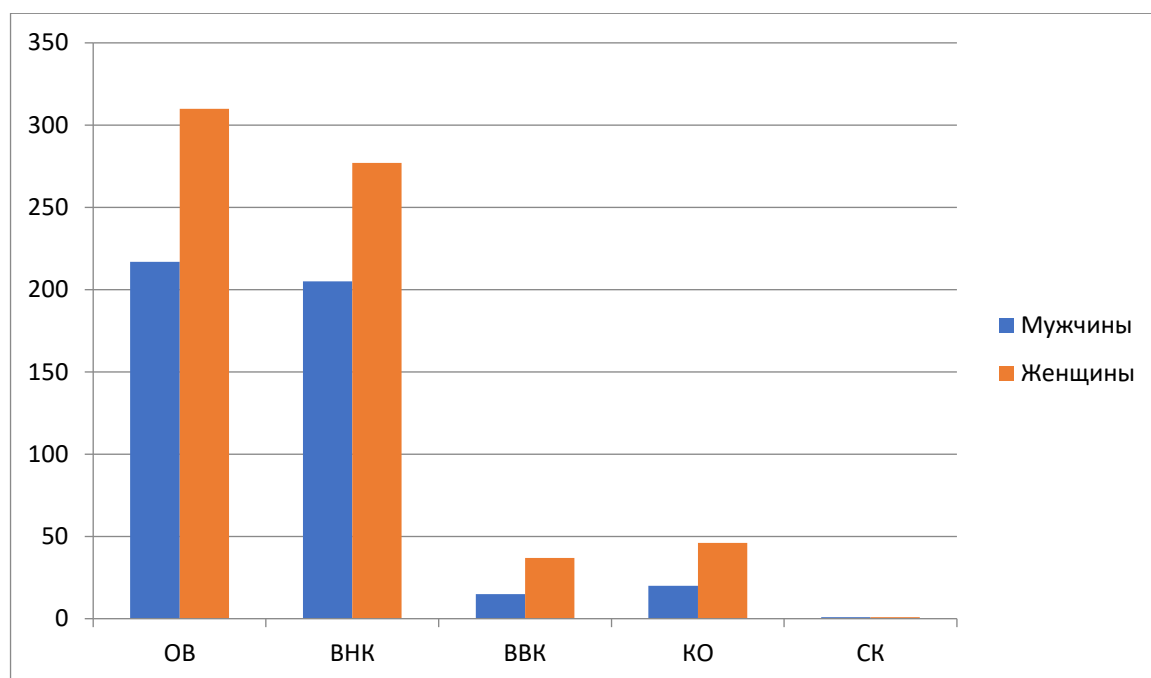


Рисунок 4 – Сравнительный анализ показателей суппортметрии при выполнении задания второго у лиц мужского и женского пола

Для анализа использовались медианы (Me) показателей общего времени выполнения (ОВ), времени нахождения на контуре задания (ВНК), времени нахождения вне контура задания (ВВК), количества ошибок (КО) и среднее значение (M) скорости выполнения задания (СК).

Основываясь на Рисунке 4, можно сделать вывод, что по всем показателям, кроме СК, испытуемые мужского пола показывают результат значительно лучше. Так ОВ у женщин на 142% выше, чем у мужчин, ВНК на 135% выше, ВВК на 247%, КО на 230%. При этом скорость выполнения задания была одинакова.

Так при прохождении второго трека при одинаковой скорости выполнения, мужчины показали более точную координированную работу. Можно предположить, что прохождение первого задания выработало более стойкий очаг возбуждения в моторных центрах головного мозга, который позволил более точно пройти второе задание. Также возможно, что прохождение первого трека активировало большее количество структур, отвечающих за программирование и реализацию двигательного акта.

При сравнении показателей выполнения третьего задания были получены следующие результаты (Рисунок 5).

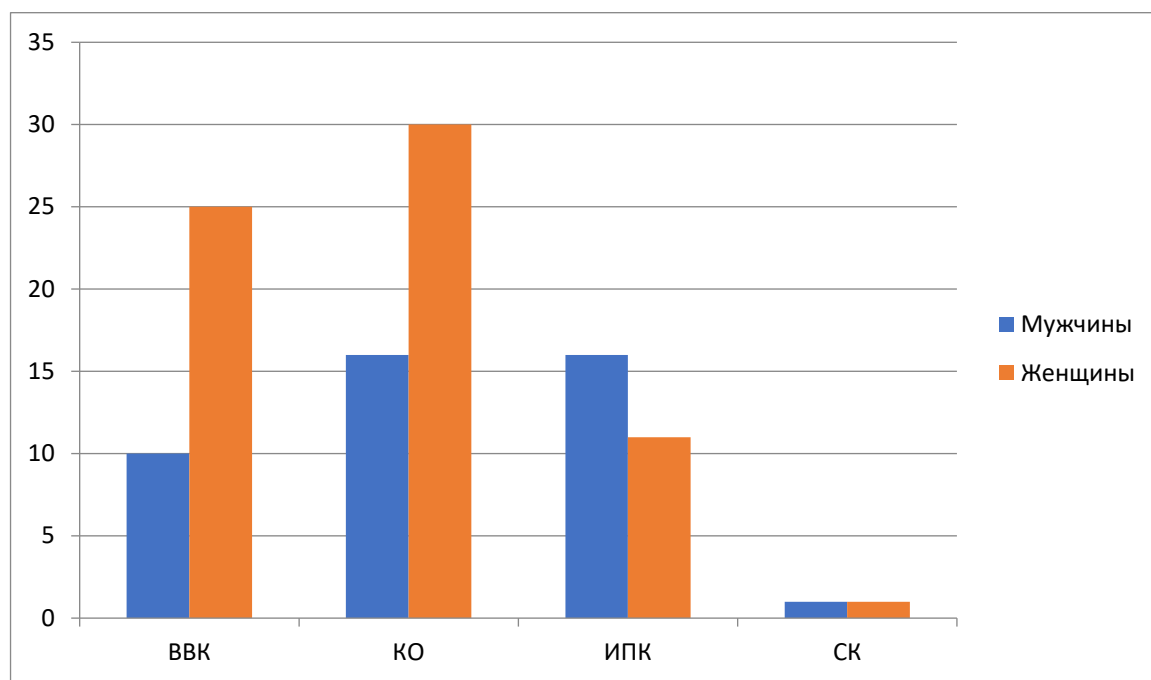


Рисунок 5 – Сравнительный анализ показателей суппортметрии при выполнении третьего задания у лиц мужского и женского пола

Сравнение значений медиан ВВК показало, что женщины на 250% больше времени провели вне контура задания. КО у женского пола на 188% больше, интегральный показатель координации движений, который рассчитывается исходя из нескольких критериев, не включенных в данное сравнение, на 146% выше у мужчин чем у противоположного пола. Среднее значение скорости выполнения заданий находились на одном уровне. Несмотря на то, что для обоих полов третий трек не вызывал сложностей, мужчины справились с ним намного лучше, что говорит о лучшей скоординированной работе всех структур в реализации двигательного акта.

В заключительном четвертом задании были получены следующие результаты (Рисунок 6).

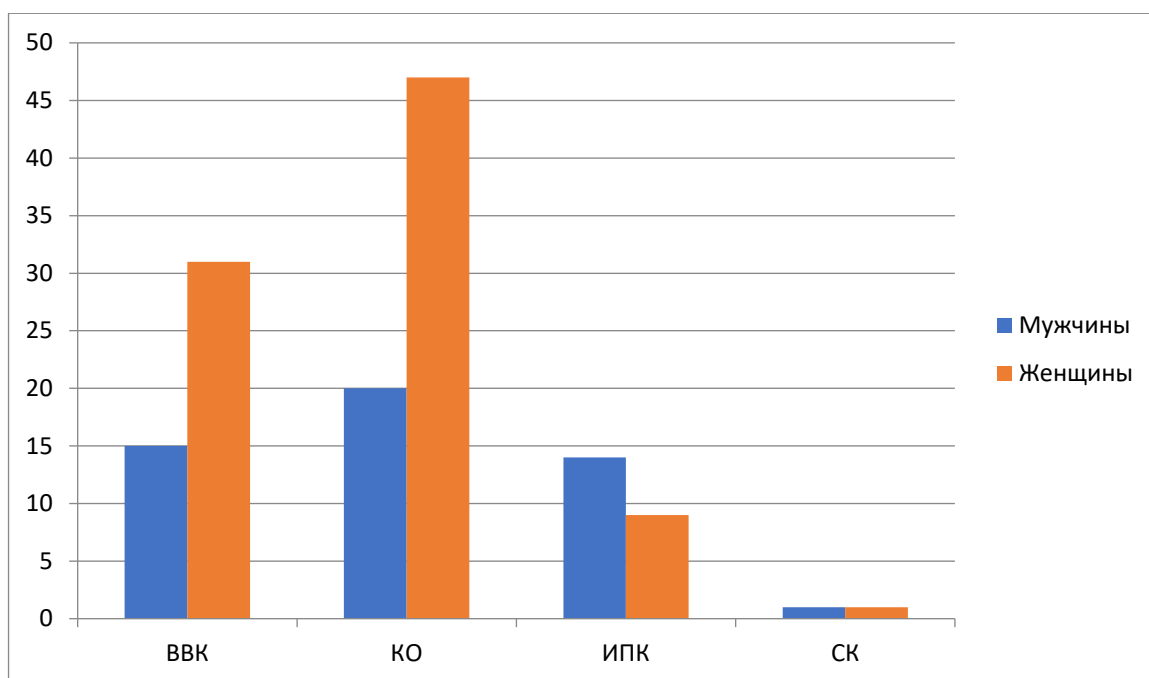


Рисунок 6 – Сравнительный анализ показателей суппортметрии при выполнении четвертого задания у лиц мужского и женского пола

Для мужского пола четвертый трек являлся наиболее сложным, однако в сравнении, значения показателей превалировали над таковыми у женского пола. Так полученные данные ВВК у женщин превышают на 210%, показатели КО на 235%, соответственно интегральный показатель у мужчин выше 156% при одинаковой скорости выполнения заданий. Несмотря на утомление всех структур, выполняющих работу в данных заданиях, мужчины более адаптивны и способны сохранять более высокий уровень координации движений.

При сравнении средних значений показателей суппортметрии у испытуемых мужского и женского пола наблюдаются стойкие различия с преобладанием в пользу мужчин. Это может свидетельствовать об активации различных структур мозга в инициации программы моторного акта, о циркуляции более стойкого возбуждения после преднастройки и выполнения первого задания.

3.6. Сравнительная характеристика корреляционных взаимоотношений показателей координации произвольной двигательной активности рук у испытуемых женского и мужского пола

Опираясь на информацию выше, был проведен сравнительный анализ корреляционных взаимосвязей между показателями времени нахождения на контуре у мужчин и женщин (Рисунок 7).

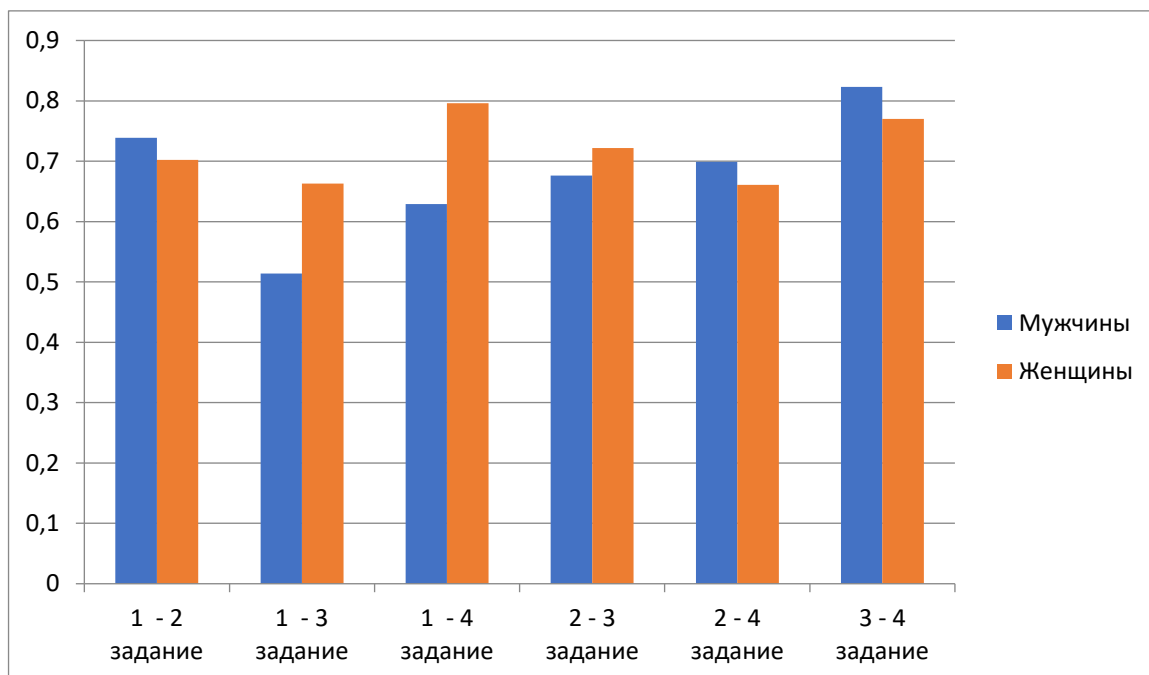


Рисунок 7 – Сравнительный анализ показателей корреляционных взаимоотношений (ρ – коэффициент корреляции Спирмена) времени нахождения на контуре суппортметрии у лиц женского и мужского пола

При выполнении первого и второго заданий наблюдается статистически значимая связь в обеих выборках исследуемых. Сила связи в группе мужчин выше на 5%, чем в группе женщин и оценивается по шкале Чеддока как высокая. Первый трек является первым в серии исследований, именно при его прохождении формируется и корректируется программа двигательного такта. Так, при изначально правильно сформированной программе, прохождение второго трека будет проходить намного точнее, что отразится на измеряемых характеристиках. Исходя из полученных данных, можно сказать, что у мужчин работа структур всех звеньев двигательного акта более скоординирована.

Взаимосвязи между показателями при выполнении первого, третьего заданий и первого, четвертого заданий характеризуют влияние изначально выработанной программы и степень влияние последующих треков на корректировку. Из анализа данных видно, что у лиц женского пола данная связь выражена сильнее и превышает в первом и третьем задании на 29%, а в первом и четвертом заданиях на 27%. Можно предположить, что центры коррекции движения у женщин менее лабильны, что позволяет им удерживать первоначальное возбуждение. У мужчин данные показатели также статистически значимы, но сила и проявление ниже, что может говорить о включении центров под задачу «здесь и сейчас» и более быстрой адаптации под изменившиеся условия.

Последовательный переход от второго к третьему заданию сопровождается значительной коррекцией программы, так как данные треки имеют различные степени сложности для разных полов. Так для женского пола переход от самого сложного для них задания к наименее сложному сопровождается сохранением высокого уровня активации нейронных структур и позволяет более точно выполнять последующие задание. У мужчин данная связь прослеживается, но по силе уступает на 6%. Это может служить признаком более стойкой циркуляции очагов возбуждения у женщин.

Связь между вторым и четвертым заданиями, как наиболее сложными, показывает, насколько мужчины и женщины могут использовать выработанную сложную программу для реализации похожих функций. Сравнительный анализ говорит о том, что мужчины наиболее способны дифференцировать выработанные программы и адаптировать их под осуществление новых функций, при этом женский пол также обладает данной функцией, но выражена ниже на 5%.

Корреляционные отношения между результатами прохождения третьего и четвертого треков, говорят о последовательном переключении с легких программ на более тяжелые, выносливости центров моторики рук и об общей тенденции улучшения координационной активности.

При рассмотрении динамики изменения силы корреляционных связей в ходе поочередного прохождения заданий (Рисунок 8), мы видим, что для женщин

свойственно постепенное нарастание связи от задания к заданию, это говорит об этом что в ходе каждого задания моторная программа претерпевает корректировку и становится более совершенной. При том, что у мужчин важное значение имеет изначальная преднастройка, которая показывает высокий результат в конце исследования.

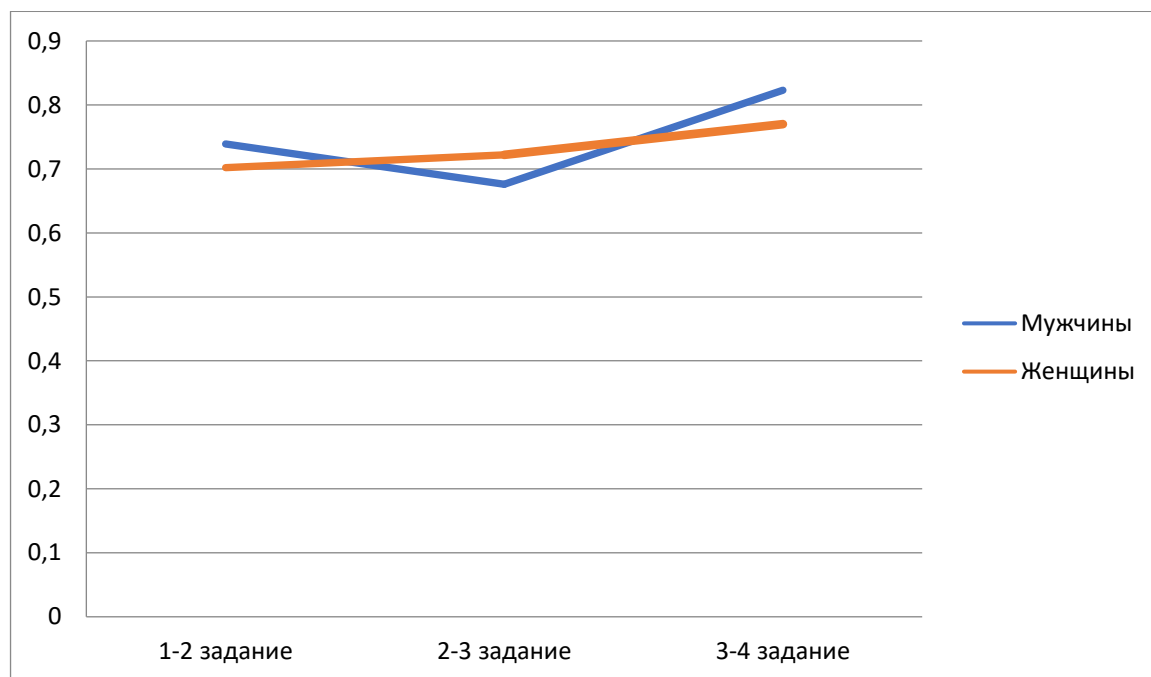


Рисунок 8 – Динамика корреляционных взаимоотношений (ρ – коэффициент корреляции Спирмена) времени нахождения на контуре суппортметрии у лиц мужского и женского пола

Исходя из этого, можно сделать вывод, что мужчины вырабатывают изначальную (до осуществления и во время первого упражнения) программу двигательного акта, которая в дальнейшем претерпевает незначительные изменения, в то время как женщины работают по системе «проб и ошибок» и каждое последующее задание приводит к адаптации и сонастройке различных отделов системы двигательного акта.

ГЛАВА 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО БИМАНАУЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЬНОГО АКТА

Во время выполнения произвольного бимануального двигательного акта наблюдается разнородная активность центров по всей коре больших полушарий, которая характеризуется различными показателями амплитудного спектра и спектра мощности. Установление внутрисистемной взаимосвязанной работы этих центров будет представлять функциональную карту программы выполнения произвольного движения.

4.1. Электрическая активность головного мозга при выполнении движения в группе испытуемых женского пола после выполнения серии заданий суппортметрии

Любая волна на электроэнцефалограмме имеет два количественных параметра: период ее от пика до пика, выраженные во времени (величина, обратная периоду — частота волны, Гц) и амплитуда волны (в мкВ). Спектр ЭЭГ может быть отображен через амплитуду (мкВ), и тогда это — амплитудный спектр. Другим вариантом, более наглядным, является спектр мощности, где за мощность принято считать квадрат амплитуды волны, привязанный к временному отрезку, в котором выполнено измерение, — эпохе анализа.

Спектральный состав позволяет количественно оценить соотношение активности (ритмов) различных диапазонов частот. За выбранную эпоху анализа производится расчет общей мощности спектра по всему выбранному диапазону.

Средние значения биоэлектрической активности головного мозга в различных его участках при реализации двигательной программы выполнения заданий суппортметрии в группе испытуемых женского пола представлены в Таблице 8.

Таблица 8 – Средние показатели амплитудного спектра ЭЭГ в группе испытуемых женского пола, мкВ

| | Выс. бета-диапазон | Низ. бета-диапазон | Альфа-диапазон | Тета-диапазон | Дельта-диапазон |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Fp1 A1 | 0,25 ± 0,06 (M ± SD) | 0,47 (Me) | 1,00 ± 0,34 (M ± SD) | 0,92 ± 0,21 (M ± SD) | 2,17 (Me) |
| Fp2 A2 | 1,12 (Me) | 0,49 (Me) | 1,05 ± 0,36 (M ± SD) | 1,02 (Me) | 2,36 (Me) |
| C3 A1 | 0,26 ± 0,06 (M ± SD) | 0,50 (Me) | 1,20 ± 0,48 (M ± SD) | 0,91 ± 0,23 (M ± SD) | 1,97 ± 0,30 (M ± SD) |
| C4 A2 | 0,27 (Me) | 0,52 (Me) | 1,19 ± 0,49 (M ± SD) | 1,05 (Me) | 2,23 (Me) |
| O1 A1 | 0,27 ± 0,06 (M ± SD) | 0,58 ± 0,21 (M ± SD) | 1,64 ± 0,81 (M ± SD) | 0,96 (Me) | 2,05 (Me) |
| O2 A2 | 0,28 (Me) | 0,61 (Me) | 1,77 ± 0,82 (M ± SD) | 1,02 ± 0,24 (M ± SD) | 2,30 (Me) |
| T3 A1 | 0,20 (Me) | 0,35 (Me) | 0,70 ± 0,25 (M ± SD) | 0,60 ± 0,14 (M ± SD) | 1,81 (Me) |
| T4 A2 | 0,21 ± 0,06 (M ± SD) | 0,38 ± 0,14 (M ± SD) | 0,77 (Me) | 0,67 ± 0,21 (M ± SD) | 2,01 (Me) |
| Примечание – M – среднее значение; SD – стандартное отклонение; Me – медиана; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | | | |

Для выборки с нормальным распределением значений мы высчитывали среднее значение этих данных (M) и их средние отклонения (SD). Если выборка имела ненормальное распределение, для более точного и корректного подсчета использовали медиану (Me). Анализу подлежат только аналогичные показатели средних величин.

При сравнении амплитудного спектра при записи электроэнцефалограммы в высокочастотном бета-диапазоне самый низкий показатель регистрируется в отведении T3 A1, который располагается в средневисочной доле слева. В отведении C4 A2 значения выше на 35%, в O2 A2 на 40%, в Fp2 A2 на 460%. Максимальная активность наблюдалась в отведении Fp2 A2, что соответствует переднелобному участку коры справа. Среднее значение в отведении T4 A2 выше медианы в отведении T3 A1 на 5%, в отведении Fp1 A1 25%, в отведении C3 A1 на 30%, в отведении O1 A1 на 35%.

В низкочастотном бета-диапазоне самый низкий показатель представлен медианой и находится в отведении Т3 А1, который располагается в средневисочной доле слева. В отведении Fp1 А1 данный показатель выше на 34%, в отведении Fp2 А2 на 40%, в отведении С3 А1 на 43%, в отведении С4 А2 на 49%, в отведении О2 А2 на 74%. Самые высокие значения представлены медианой показателя амплитудного спектра в О2 А2 отведении, который отражает электрическую активность в затылочной области коры больших полушарий. Среднее значение в отведении Т4 А2 выше медианы в отведении Т3 А1 на 9%, в отведении О1 А1 на 66%.

В альфа-диапазоне амплитудного спектра наименьшая активность регистрируется в отведении Т3 А1 и представлена средним значением показателя. В отведении Fp1 А1 данный показатель выше на 43%, в отведении Fp2 А2 на 50%, в отведении С4 А2 на 70%, в отведении С3 А1 на 71%, в отведении О1 А1 на 139%, в отведении О2 А2 на 153%. Медиана значений в отведении Т4 А2 выше среднего значения в отведении Т3 А1 на 10%. Максимальные значения показателя установлены в отведении О2 А2, который характеризует активность в затылочной области коры больших полушарий.

В тета-диапазоне наименьшее значение зарегистрировано в отведении Т3 А1 и представлено средним значением. В отведении Т4 А2 показатель выше на 12%, в отведении С3 А1 на 52%, в отведении Fp1 А1 на 53%, в отведении О2 А2 на 70%. В отведении О1 А1 медиана выше среднего значения в отведении Т3 А1 на 60%, в отведении Fp2 А2 на 70%, в отведении С4 А2 на 75%. Самый высокий показатель приходится на отведение С4 А2, что соответствует центральной области моторной коры справа.

В дельта-диапазоне наименьший показатель зарегистрирован в отведении Т3 А1 и выражен медианой значений. В отведении Т4 А2 показатель выше на 11%, в отведении О1 А на 13%, в отведении Fp1 А1 на 20%, в отведении С4 А2 на 23%, в отведении О2 А2 на 27%, в отведении Fp2 А2 на 30%. Среднее значение в отведении С3 А1 выше медианы в отведении Т3 А1 на 9%. Самая высокая активность зарегистрирована в отведении Fp2 А2, что соответствует

переднелобному участку коры справа.

Анализ средних показателей амплитудного спектра в различных частотных диапазонах показал, что в отведении Т3 А1 регистрируется самая низкая мозговая активность. Максимальные значения были установлены в отведении Fp2 А2 в высокочастотном бета- и дельта-диапазонах, в отведении О2 А2 в низкочастотном бета- и альфа-диапазонах, в отведении С4 А2 в тета-диапазоне.

При проведении сравнительного анализа спектра мощности в высокочастотном бета-диапазоне минимальные значения электрической активности головного мозга были установлены в отведениях Т3 А1, Т4 А2. Значения в отведении Fp1 А1 выше на 43%, в отведении Fp2 А2 на 43%, в отведении С4 А2 на 57%, в отведении С3 А1 на 71%, в отведении О1 А1 на 71%, в отведении О2 А2 на 100%. Максимальная активность наблюдается в отведении О2 А2, что соответствует затылочной области коры больших полушарий.

В низкочастотном бета-диапазоне наименьший показатель регистрируется в отведении Т3 А1. Значения в отведении Т4 А2 выше на 17%, в отведении Fp1 А1 на 83%, в отведении Fp2 А2 на 94%, в отведении С3 А1 на 105%, в отведении С4 А2 на 116%, в отведении О1 А1 на 188%, в отведении О2 А2 на 194%. Наибольший показатель активности зарегистрирован в отведении О2 А2.

В альфа-диапазоне самую низкую активность показывает область мозга под отведением Т3 А1. Показатели отведения Т4 А2 выше на 26%, в отведении Fp1 А1 на 101%, в отведении Fp2 А2 на 118%, в отведении С4 А2 на 200%, в отведении С3 А1 на 218%, в отведении О1 А1 на 633%, в отведении О2 А2 на 708%. Наблюдается резкий подъем активности в затылочных отведениях О1 А1, О2 А2, при том, что в отведении О2 А2 зафиксировано максимальное значение (Таблица 9).

В тета-диапазоне минимальная активность в отведении Т3 А1. Уровень активности в отведении Т4 А2 выше на 29%, в отведении Fp1 А1 на 137%, в отведении С3 А1 на 143%, в отведении О1 А1 на 147%, в отведении Fp2 А2 на 194%, в отведении С4 А2 на 204%, в отведении О2 А2 на 335%. Максимальная величина в отведении О2 А2.

Таблица 9 – Средние показатели спектра мощности ЭЭГ в группе испытуемых женского пола после выполнения заданий суппортметрии, мкВ

| | Выс. бета-диапазон | Низ. бета-диапазон | Альфа-диапазон | Тета-диапазон | Дельта-диапазон |
|--------|--------------------|--------------------|----------------|---------------|--------------------------|
| Fp1 A1 | 0,10 (Me) | 0,33 (Me) | 1,65 (Me) | 1,16 (Me) | 8,31 (Me) |
| Fp2 A2 | 0,10 (Me) | 0,35 (Me) | 1,79 (Me) | 1,44 (Me) | 11,56 (Me) |
| C3 A1 | 0,12 (Me) | 0,37 (Me) | 2,61 (Me) | 1,19 (Me) | 6,45 (Me) |
| C4 A2 | 0,11 (Me) | 0,39 (Me) | 2,46 (Me) | 1,49 (Me) | 10,49 ± 9,73 (M ± SD) |
| O1 A1 | 0,12 (Me) | 0,52 (Me) | 6,01 (Me) | 1,21 (Me) | 7,03 ± 3,93 (M ± SD) |
| O2 A2 | 0,14 (Me) | 0,53 (Me) | 6,63 (Me) | 2,13 (Me) | 10,80 (Me) |
| T3 A1 | 0,07 (Me) | 0,18 (Me) | 0,82 (Me) | 0,49 (Me) | 7,28 (Me) |
| T4 A2 | 0,07 (Me) | 0,21 (Me) | 1,03 (Me) | 0,63 (Me) | 9,72 (Me) |

Примечание – M – среднее значение; SD – стандартное отклонение; Me – медиана; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

В дельта-диапазоне наименьшие параметры зарегистрированы в отведении C3 A1. Значения в отведении в отведении T3 A1 выше на 13%, Fp1 A1 на 29%, в отведении T4 A2 на 51%, в отведении O2 A2 на 67%, в отведении Fp2 A2 на 79%. Средние значения в отведении O1 A1 выше медианы в отведении C3 A1 на 9%, а в отведении C4 A2 выше на 63%. Максимальный показатель в отведении Fp2 A2.

Сравнительный анализ спектра мощности при реализации программы моторного акта после выполнения заданий суппортметрии показал, что область наименьшей активности в бета-, альфа- и тета-диапазонах сосредоточена в отведении T3 A1, что соответствует области средневисочной коры слева. В дельта-диапазоне такой области является центральная часть моторной коры слева в проекции отведения C3 A1. Наивысшая активность альфа-, бета- и тета-волн регистрируется в отведении O2 A2, где записываются электрические биопотенциалы затылочной области коры справа. Дельта-волны сосредоточены в

проекции отведения Fp2 A2, что соответствует лобным областям коры справа.

Так синхронизация альфа-, бета- и тета-ритмов в правой затылочной области, дельта-ритма в центральной моторной области слева и их десинхронизация в средневисочной доле слева и правой лобной доле соответственно, могут рассматриваться как единый механизм программы двигательного акта.

4.2. Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения характеристик электрической активности головного мозга при выполнении произвольного двигательного акта у испытуемых женского пола

Был проведен внутрисистемный корреляционный анализ показателей амплитудного спектра ЭЭГ в различных отведениях в состоянии покоя (Таблица 10).

В состоянии покоя, при записи фоновой активности коры больших полушарий у женщин слабой тесноты корреляционные связи выявлены в парах отведений T3 A1 – T4 A2 в высокочастотном бета-диапазоне, Fp2 A2 – C4 A2, C3 A1 – O1 A1 в низкочастотном бета-диапазоне, Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C3 A1, Fp1 A1 – O2 A2, Fp2 A2 – T4 A2, C4 A2 – T3 A1, O1 A1 – T3 A1, O2 A2 – T4 A2 в альфа-диапазоне, Fp2 A2 – T3 A1 в тета-диапазоне, Fp1 A1 – O1 A1, C4 A2 – O1 A1 в дельта-диапазоне. В остальных парах отведений статистически значимых связей не обнаружено.

Таблица 10 – Коэффициент корреляции показателей амплитудного спектра в различных отведениях у женщин

| | Высок. бета- диапазон | Низко. бета- диапазон | Альфа- диапазон | Тета- диапазон | Дельта- диапазон |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,242 | 0,263 | 0,456* | 0,322 | 0,302 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,148 | 0,179 | 0,525* | 0,289 | 0,227 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,212 | 0,232 | 0,478 | 0,235 | 0,295 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,311 | 0,313 | 0,463 | 0,313 | 0,317* |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,136 | 0,142 | 0,501* | 0,214 | 0,287 |

| | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,125 | 0,119 | 0,429 | 0,198 | 0,206 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,204 | 0,211 | 0,389 | 0,214 | 0,236 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,247 | 0,234 | 0,447 | 0,265 | 0,241 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,256 | 0,324* | 0,394 | 0,289 | 0,267 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,139 | 0,184 | 0,401 | 0,224 | 0,301 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,179 | 0,169 | 0,436 | 0,226 | 0,224 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,343 | 0,285 | 0,521 | 0,303* | 0,184 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,193 | 0,201 | 0,487* | 0,274 | 0,245 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,234 | 0,197 | 0,469 | 0,227 | 0,297 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,456 | 0,332* | 0,426 | 0,332 | 0,305 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,322 | 0,124 | 0,397 | 0,289 | 0,274 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,197 | 0,194 | 0,406 | 0,261 | 0,199 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,223 | 0,165 | 0,378 | 0,247 | 0,254 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,134 | 0,224 | 0,399 | 0,228 | 0,365* |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,126 | 0,322 | 0,451 | 0,197 | 0,255 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,378 | 0,256 | 0,499* | 0,265 | 0,213 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,227 | 0,277 | 0,384 | 0,365 | 0,286 |
| O1 A1– O2 A2 | 0,134 | 0,174 | 0,476 | 0,254 | 0,264 |
| O1 A1– T3 A1 | 0,078 | 0,111 | 0,487* | 0,194 | 0,356 |
| O1 A1– T4 A2 | 0,366 | 0,263 | 0,403 | 0,321 | 0,254 |
| O2 A2– T3 A1 | 0,289 | 0,235 | 0,396 | 0,256 | 0,184 |
| O2 A2– T4 A2 | 0,326 | 0,289 | 0,487* | 0,334 | 0,056 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,434* | 0,356 | 0,234 | 0,337 | 0,236 |
| Примечание – Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы; * - статистически значимые различия. | | | | | |

Был проведен внутрисистемный корреляционный анализ показателей амплитудного спектра ЭЭГ высокочастотного бета-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануальных произвольных движений в рамках заданий суппортметрии (Таблица 11).

Таблица 11 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в высокочастотном бета-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,768 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,859 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,710 | Высокая | < 0,001 |

| | | | |
|---|-------|-----------|---------|
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,750 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,622 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,777 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,715 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,690 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,837 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,574 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,657 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,477 | Умеренная | 0,006 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,755 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,758 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,744 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,631 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,729 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,674 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,613 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,783 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,400 | Умеренная | 0,023 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,664 | Заметная | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,737 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,719 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,671 | Заметная | < 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,485 | Умеренная | 0,005 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,627 | Заметная | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,568 | Заметная | < 0,001 |
| Примечание – r – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

Сравнительный анализ и определение силы связи корреляционных взаимоотношений проводился на основе различий в значениях коэффициента корреляции Спирмена. Разница между показателями высчитывается относительно самых минимальных значений взаимосвязи.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями C4 A2 – T3 A1, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре Fp2 A2 – T3 A1 выше на 19%, характеризуется как умеренная; O2 A2 – T3 A1 выше на 21%, характеризуется как умеренная; T3 A1 – T4 A2 выше на 42%, характеризуется как

заметная; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 44%, характеризуется как заметная; C4 A2 – O1 A1 выше на 53%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – O2 A2 выше на 56%, характеризуется как заметная; O2 A2 – T4 A2 выше на 57%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O2 A2 выше на 58%, характеризуется как заметная; C3 A1 – T4 A2 выше на 59%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 64%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T4 A2 выше на 66%, характеризуется как заметная; O1 A1 – T4 A2 выше на 68%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – C3 A1 выше на 73%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 78%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2 выше на 79%, характеризуется как высокая; O1 A1 – T3 A1 выше на 80%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T3 A1 выше на 82%, характеризуется как высокая; O1 A1 – O2 A2 выше на 84%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O1 A1 выше на 86%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1, Fp2 A2 – T4 A2 выше на 88%, характеризуется как высокая; C3 A1 – C4 A2 выше на 90%, характеризуется как высокая; в Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 92%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 94%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 96%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 109%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 115%, характеризуется как высокая.

Самая сильная взаимосвязь выявлена отведениях Fp1 A1 – C3 A1, что соответствует локализациям в лобной доле слева и центральной моторной области слева, а также Fp2 A2 – C4 A2, что соответствует локализациям в лобной доле справа и центральной моторной области справа.

Был проведен внутрисистемный корреляционный анализ показателей спектра мощности ЭЭГ высокочастотного бета-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения в рамках заданий суппортметрии (Таблица 12)

Таблица 12 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в высокочастотном бета-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,796 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,844 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,714 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,760 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,525 | Заметная | 0,002 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,796 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,811 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,709 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,835 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,587 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,586 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,518 | Заметная | 0,002 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,778 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,767 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,741 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,630 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,734 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,657 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,659 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,685 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,456 | Умеренная | 0,009 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,699 | Заметная | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,677 | Заметная | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,749 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,711 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,402 | Умеренная | 0,023 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,571 | Заметная | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,616 | Заметная | < 0,001 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями O2 A2 – T3 A1, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре C4 A2 – T3 A1 выше на 13%, характеризуется как умеренная; Fp2 A2 – T3 A1 выше на 29%,

характеризуется как заметная; Fp1 A1 – O2 A2 выше на 31%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 41%, характеризуется как заметная; O2 A2 – T4 A2 выше на 42%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 46%, характеризуется как заметная; T3 A1 – T4 A2 выше на 53%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O2 A2 выше на 57%, характеризуется как заметная; C3 A1 – T4 A2 выше на 63%, характеризуется как заметная; C4 A2 – O1 A1 выше на 64%, характеризуется как заметная; O1 A1 – O2 A2 выше на 68%, характеризуется как заметная; C4 A2 – O2 A2 выше на 70%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T4 A2 выше на 74%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – C3 A1 выше на 76%, характеризуется как высокая; O1 A1 – T4 A2 выше на 77%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 78%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T3 A1 выше на 83%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O1 A1 выше на 84%, характеризуется как высокая; O1 A1 – T3 A1 выше на 86%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 89%, характеризуется как высокая; C3 A1 – C4 A2 выше на 91%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 94%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – T3 A1 выше на 98%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2 выше на 102%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 108%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 110%, характеризуется как высокая.

Наибольший коэффициент зафиксирован в отведениях Fp1 A1 – C3 A1, который показывает самые сильные взаимосвязи в лобной доле слева и центральной моторной области слева, а также Fp2 A2 – C4 A2, что соответствует локализациям в лобной доле справа и центральной моторной области справа, что говорит о связи первичных и третичных моторных полей левых и правых отделов мозга. Между отведениями Fp1 A1 – T4 A2 также установлена сильная прямая двухсторонняя связь и говорит о совместной деятельности лобной доли слева и средне височной части коры справа, что характеризует межполушарное взаимодействие первичных и третичных моторных полей.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями T3 A1 – T4 A2,

характеризуется как заметная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в парах Fp1 A1 – T3 A1, Fp1 A1 – T4 A2, C3 A1 – T4 A2 выше на 15%, характеризуется как высокая; O1 A1– T4 A2 выше 17%, характеризуется как высокая; O1 A1– T3 A1, Fp2 A2 – T3 A1 выше на 20%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O2 A2, Fp2 A2 – O1 A1, C4 A2 – T4 A2 выше на 22%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O1 A1 выше на 23%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2, Fp2 A2 – O2 A2, C3 A1 – T3 A1, C4 A2 – O1 A1, C4 A2 – T3 A1 выше на 24%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2, O1 A1– T4 A2, O2 A2– T4 A2 выше на 25%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O2 A2 выше на 26%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 27%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C3 A1, C4 A2 – O2 A2 выше на 32%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1, Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 33%, характеризуется как весьма высокая; C3 A1 – C4 A2 выше на 38%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 A2 – C4 A2, O1 A1– O2 A2 выше на 39%, характеризуется как весьма высокая (Таблица 13).

Максимальные значения корреляционной связи выявлено в отведениях O1 A1– O2 A2 и говорит нам о сильных взаимодействиях затылочных области коры справа и слева, которые отвечают переработку и хранение зрительной информации.

Таблица 13 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в низкочастотном бета-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,896 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,902 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,845 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,861 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,826 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,777 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,775 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,894 | Высокая | < 0,001 |

| | | | |
|--|-------|----------------|---------|
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,937 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,824 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,837 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,809 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,841 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,930 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,834 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,850 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,839 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,778 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,841 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,889 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,837 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,827 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,940 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,758 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,789 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,810 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,846 | Высокая | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,676 | Заметная | < 0,001 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

Аналогичная ситуация в отведениях C3 A1 – C4 A2 показывает наличие сильной зависимости между центральными отделами премоторной коры. Также сильная связь выявляется в отведениях Fp1 A1 – C3 A1, который показывает самые сильные взаимосвязи в лобной доле слева и центральной моторной области слева, а также Fp2 A2 – C4 A2, что соответствует локализациям в лобной доле справа и центральной моторной области справа, которые говорят о тесном взаимодействии первичных и передних третичных моторных полей.

Был проведен внутрисистемный корреляционный анализ показателей спектра мощности ЭЭГ низкочастотного бета-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения в рамках заданий суппортметрии (Таблица 14).

Таблица 14 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в низкочастотном бета-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,922 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,907 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,874 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,864 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,858 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,831 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,791 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,883 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,937 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,826 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,855 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,841 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,829 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,921 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,837 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,849 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,863 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,763 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,850 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,893 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,881 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,817 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,948 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,805 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,815 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,839 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,843 | Высокая | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,699 | Заметная | < 0,001 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями T3 A1 – T4 A2, характеризуется как заметная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре C3 A1 – T4 A2 выше на 9%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2 выше на 13%,

характеризуется как высокая; O1 A1– T3 A1 выше на 15%, характеризуется как высокая; O1 A1– T4 A2, C4 A2 – T4 A2 выше на 17%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 18%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2, Fp1 A1 – T3 A1 выше на 19%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T3 A1, C3 A1 – O1 A1, O2 A2– T3 A1 выше на 20%, характеризуется как высокая; O2 A2– T4 A2, C3 A1 – O2 A2 выше на 21%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O2 A2, C4 A2 – O1 A1 выше на 22%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O2 A2, C3 A1 – T3 A1 выше на 23%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 24%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 25%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C3 A1, C4 A2 – T3 A1 выше на 26%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 28%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 30%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2, C3 A1 – C4 A2 выше на 32%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 34%, характеризуется как весьма высокая; O1 A1 – O2 A2 выше на 37%, характеризуется как весьма высокая .

Наивысшая взаимосвязь наблюдается между отведениями O1 A1 – O2 A2, Fp2 A2 – C4 A2, C3 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C3 A1 и соединяет затылочные, центральные премоторные и лобные области коры больших полушарий справа и слева в одноименных участках, что говорит об отсутствии межполушарной функциональной асимметрии в низкочастотном бета-диапазоне, а также фронтальные и центральные премоторные области между собой, которые характеризуют взаимодействие первичных и передних третичных полей между собой.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями O1 A1 – T4 A2, характеризуется как высокая по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре Fp2 A2 – O1 A1 выше на 4%, характеризуется как высокая; O2 A2– T4 A2 выше на 5%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 7%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1, O1 A1– T3 A1 выше на 8%, характеризуется как высокая; O2 A2– T3 A1, C4 A2 – O1 A1 выше на 11%, характеризуется как высокая; C3 A1 –

T4 A2 выше на 12%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O2 A2, Fp1 A1 – C3 A1, Fp2 A2 – C3 A1 выше на 13%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2 выше на 14%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 15%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O2 A2, C4 A2 – T4 A2 выше на 16%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T3 A1, C3 A1 – O1 A1 выше на 17%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 18%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2, O1 A1 – O2 A2, T3 A1 – T4 A2 выше на 22%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T3 A1, C4 A2 – T3 A1 выше на 23%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 25%, характеризуется как высокая; C3 A1 – C4 A2 выше на 26%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 28%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 33%, характеризуется как весьма высокая (Таблица 15).

Таблица 15 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в альфа-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,953 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,810 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,897 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,779 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,810 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,852 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,822 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,809 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,918 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,749 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,767 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,842 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,824 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,909 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,838 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,836 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,883 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,807 | Высокая | < 0,001 |

| | | | |
|--|-------|---------|---------|
| C4 A2 – O1 A1 | 0,798 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,878 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,882 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,834 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1– O2 A2 | 0,879 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1– T3 A1 | 0,778 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1– T4 A2 | 0,719 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2– T3 A1 | 0,799 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2– T4 A2 | 0,758 | Высокая | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,875 | Высокая | < 0,001 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

Наивысший коэффициент корреляции зарегистрирован между отведениями Fp1 A1 – Fp2 A2 и характеризует сильную двухстороннюю связь между фронтальными отделами коры слева и справа, а также между отведениями C3 A1 – C4 A2, который показывает сочетанную работу центральных областей премоторной коры и отведениями Fp2 A2 – C4 A2, который указывает на сильную взаимную активацию области лобной коры справа и центральной премоторной корой справа.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями O2 A2 – T4 A2, характеризуется как заметная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре O2 A2– T3 A1 выше на 1%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O2 A2 выше на 2%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O2 A2 выше на 3%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 4%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 6%, характеризуется как высокая; O1 A1– T4 A2 выше на 7%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O1 A1 выше на 8%, характеризуется как высокая; O1 A1– T3 A1 выше на 11%, характеризуется как высокая; C4 A2 – T4 A2, Fp2 A2 – T4 A2 выше на 13%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2, C3 A1 – O1 A1 выше на 14%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 15%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 16%, характеризуется как

высокая; C4 A2 – T3 A1, O1 A1– O2 A2 выше на 17%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1, Fp2 A2 – C3 A1 выше на 19%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – T3 A1, C3 A1 – C4 A2 выше на 22%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T3 A1 выше на 23%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T4 A2 выше на 25%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T3 A1 выше на 28%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 29%, характеризуется как высокая; T3 A1 – T4 A2 выше на 30%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 37%, характеризуется как весьма высокая (Таблица 16).

Таблица 16 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в альфа-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | ρ |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,952 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,803 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,847 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,824 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,714 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1– T3 A1 | 0,848 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,793 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,828 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,898 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,799 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2– O2 A2 | 0,725 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,857 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,786 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,850 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,793 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,707 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,889 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,866 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,748 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,735 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,810 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,785 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,816 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,760 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,745 | Высокая | < 0,001 |

| | | | |
|--|-------|----------------|---------|
| O2 A2 – T3 A1 | 0,699 | Заметная | < 0,001 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,695 | Заметная | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,904 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

Максимальная сила связи установлена в парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2 и T3 A1 – T4 A2, и характеризует прочную связь между правым и левым фронтальными долями, а также об активном взаимодействии между правым и левым отделами средневисочных участков коры, и говорит о созависимой работе третичных и вторичных моторных полей между собой.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями O1 A1– T3 A1, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре O1 A1– T4 A2 выше на 23%, характеризуется как умеренная; Fp2 A2 – T3 A1, C3 A1 – T4 A2 выше на 27%, характеризуется как умеренная; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 35%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – T4 A2, Fp2 A2 – O1 A1, O2 A2– T3 A1 выше на 39%, характеризуется как заметная; T3 A1 – T4 A2 выше на 40%, характеризуется как весьма заметная Fp1 A1 – O1 A1 выше на 47%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – C3 A1 выше на 52%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 55%, характеризуется как заметная; C4 A2 – O1 A1 выше на 60%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – O2 A2 выше на 61%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T3 A1 выше на 62%, характеризуется как заметная; C4 A2 – O2 A2 выше на 64%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 66%, характеризуется как заметная; O1 A1– O2 A2 выше на 71%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O2 A2, O2 A2 – T4 A2 выше на 76%, характеризуется как заметная; C3 A1 – C4 A2 выше на 79%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T4 A2 выше на 86%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 87%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 89%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T3 A1 выше на 92%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3

A1 выше на 95%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O1 A1 выше на 98%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 131%, характеризуется как высокая (Таблица 17).

Самая выраженная корреляционная связь выявлена в отведениях Fp2 A2 – C4 A2 и говорит о сильном взаимодействии лобной доли справа и центральной премоторной коры справа.

В парах отведений C3 A1 – T4 A2 и T3 A1 – T4 A2 статистически значимых связей не выявлено.

Таблица 17 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в тета-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,627 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,735 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,706 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,556 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,608 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,584 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,523 | Заметная | 0,002 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,572 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,871 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,523 | Заметная | 0,002 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,509 | Заметная | 0,003 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,480 | Умеренная | 0,005 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,712 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,673 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,747 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,663 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,725 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,479 | Умеренная | 0,006 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,605 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,618 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,612 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,704 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,643 | Заметная | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,377 | Умеренная | 0,034 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,465 | Умеренная | 0,007 |

| | | | |
|--|-------|----------|---------|
| O2 A2– T3 A1 | 0,524 | Заметная | 0,002 |
| O2 A2– T4 A2 | 0,663 | Заметная | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,528 | Заметная | 0,002 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями O1 A1 – T4 A2, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре O1 A1– T3 A1 выше на 3%, характеризуется как умеренная; Fp1 A1 – T4 A2 выше на 8%, характеризуется как умеренная; O2 A2– T3 A1 выше на 9%, характеризуется как умеренная; Fp2 A2 – T3 A1 выше на 32%, характеризуется как заметная; O2 A2 – T4 A2 выше на 35%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – O2 A2, Fp2 A2 – O1 A1 выше на 36%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – O2 A2, C4 A2 – T4 A2 выше на 40%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – O1 A1, Fp2 A2 – C3 A1 выше на 43%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 44%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T3 A1 выше на 48%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O2 A2 выше на 49%, характеризуется как заметная; C4 A2 – O1 A1 выше на 54%, характеризуется как заметная; O1 A1– O2 A2 выше на 61%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 63%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 64%, характеризуется как заметная; C4 A2 – O2 A2 выше на 66%, характеризуется как заметная; C3 A1 – C4 A2 выше на 70%, характеризуется как заметная; C3 A1 – T3 A1 выше на 76%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 81%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O1 A1 выше на 87%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 91%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 128%, характеризуется как высокая (Таблица 18).

Таблица 18 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в тета-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,636 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,745 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,708 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,558 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,531 | Заметная | 0,002 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,640 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,423 | Умеренная | 0,016 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,561 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,891 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,532 | Заметная | 0,002 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,546 | Заметная | 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,515 | Заметная | 0,003 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,564 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,664 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,733 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,582 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,688 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,322 | Умеренная | 0,073 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,601 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,648 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,578 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,549 | Заметная | 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,630 | Заметная | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,404 | Умеренная | 0,022 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,391 | Умеренная | 0,027 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,425 | Умеренная | 0,015 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,526 | Заметная | 0,002 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,288 | Слабая | 0,110 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

В отведениях Fp2 A2 – C4 A2 выявлена самая сильная взаимосвязь, что говорит о сочетанной работе лобной доли справа и центральной премоторной коры справа и связи первичных и передних третичных моторных полей.

В парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – O1 A1, Fp1 A1

– T4 A2, Fp2 A2 – C3 A1, Fp2 A2 – O2 A2, Fp2 A2 – T3 A1, C3 A1 – C4 A2, C3 A1 – O1 A1, C3 A1 – T4 A2, C4 A2 – O2 A2, C4 A2 – T3 A1, O1 A1 – O2 A2, O1 A1 – T3 A1, O2 A2 – T3 A1, O2 A2 – T4 A2, T3 A1 – T4 A2 статистически значимых связей не обнаружено.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями Fp1 A1 – O2 A2, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре Fp1 A1 – T3 A1 выше на 6%, характеризуется как умеренная; C3 A1 – T3 A1 выше на 12%, характеризуется как заметная; O1 A1 – T4 A2 выше на 13%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 15%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O2 A2 выше на 23%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T4 A2 выше на 33%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 39%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 96%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 98%, характеризуется как весьма высокая; C4 A2 – O1 A1 выше на 107%, характеризуется как весьма высокая (Таблица 19).

Наивысший уровень корковых взаимодействий регистрируется в отведениях Fp2 A2 – C4 A2 и говорит о сильной связи фронтальных отделов коры с центральным премоторным отделом справа.

Таблица 19 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в дельта-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,131 | Слабая | 0,476 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,530 | Заметная | 0,002 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,112 | Слабая | 0,541 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,026 | Нет связи | 0,889 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,461 | Умеренная | 0,008 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,489 | Умеренная | 0,005 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,328 | Умеренная | 0,067 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,288 | Слабая | 0,110 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,913 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,904 | Весьма высокая | < 0,001 |

| | | | |
|--|--------|----------------|---------|
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,011 | Нет связи | 0,952 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,054 | Нет связи | 0,771 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,643 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,251 | Слабая | 0,166 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,286 | Слабая | 0,112 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,567 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,518 | Заметная | 0,002 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,218 | Слабая | 0,230 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,954 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,026 | Нет связи | 0,888 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,002 | Нет связи | 0,993 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,613 | Заметная | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,041 | Нет связи | 0,826 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,001 | Нет связи | 0,996 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,519 | Заметная | 0,002 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,318 | Умеренная | 0,076 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,004 | Нет связи | 0,984 |
| T3 A1 – T4 A2 | -0,013 | Нет связи | 0,943 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

Тесная связь в отведениях Fp2 A2 – O1 A1 свидетельствует о взаимодействии фронтальных областей справа и затылочных участков коры слева. Также центральная премоторная кора справа имеет взаимосвязи с затылочными отделами слева, что видно из показателей в отведениях C4 A2 – O1 A1. Выявленные взаимосвязи показывают на межполушарную трансобластную функциональную асимметрию моторных полей.

В парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – O1 A1, Fp1 A1 – O2 A2, Fp1 A1 – T4 A2, Fp2 A2 – C3 A1, Fp2 A2 – O1 A1, Fp2 A2 – T3 A1, C3 A1 – C4 A2, C3 A1 – O2 A2, C3 A1 – T4 A2, C4 A2 – O1 A1, C4 A2 – T3 A1, O1 A1 – O2 A2, O1 A1 – T3 A1, O1 A1 – T4 A2, O2 A2 – T3 A1, T3 A1 – T4 A2 статистически значимых связей не обнаружено.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями Fp1 A1 – C4 A2, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре Fp1 A1 – T3

A1 выше на 25%, характеризуется как умеренная; C3 A1 – O1 A1 выше на 26%, характеризуется как умеренная; C3 A1 – T3 A1 выше на 48%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 65%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T4 A2 выше на 74%, характеризуется как заметная; O2 A2 – T4 A2 выше на 76%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 79%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 88%, характеризуется высокая; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 109%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 147%, характеризуется как весьма высокая (Таблица 20).

Таблица 20 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в дельта-диапазоне в различных отведениях у женщин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,047 | Нет связи | 0,800 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,629 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,382 | Умеренная | 0,031 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | -0,103 | Слабая | 0,575 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | -0,056 | Нет связи | 0,759 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,476 | Умеренная | 0,006 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,153 | Слабая | 0,402 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,248 | Слабая | 0,170 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,717 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | -0,074 | Нет связи | 0,688 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,798 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,085 | Нет связи | 0,643 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,685 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,076 | Нет связи | 0,677 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,485 | Умеренная | 0,005 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,122 | Слабая | 0,505 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,566 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,138 | Слабая | 0,450 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,347 | Умеренная | 0,051 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,944 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | -0,153 | Слабая | 0,403 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,666 | Заметная | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,173 | Слабая | 0,343 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,220 | Слабая | 0,226 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,007 | Нет связи | 0,969 |
| O2 A2 – T3 A1 | -0,046 | Нет связи | 0,802 |

| | | | |
|--|-------|----------|---------|
| O2 A2 – T4 A2 | 0,672 | Заметная | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,104 | Слабая | 0,572 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

Коэффициент корреляции имеет максимальные значения в отведениях C4 A2 – O2 A2, что говорит о прочной связи центральной преmotorной области коры справа с затылочной частью коры справа, которая характеризует взаимодействие первичных моторных полей с зонами хранения, анализа зрительной информации.

4.3. Электрическая активность головного мозга при выполнении движения в группе испытуемых мужского пола после выполнения серии заданий суппортметрии

Средние значения биоэлектрической активности головного мозга в различных его участках при реализации двигательной программы выполнения заданий суппортметрии в группе испытуемых мужского пола представлены в таблице (Таблица 21).

Таблица 21 – Средние показатели амплитудного спектра ЭЭГ в группе испытуемых мужского пола, мкВ

| Отведения | Выс. бета-диапазон | Низ. бета-диапазон | Альфа-диапазон | Тета-диапазон | Дельта-диапазон |
|-----------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Fp1 A1 | 0,22 (Me) | 0,42 (Me) | 0,95 ± 0,39 (M ± SD) | 0,92 ± 0,28 (M ± SD) | 2,26 (Me) |
| Fp2 A2 | 0,23 (Me) | 0,47 (Me) | 1,02 ± 0,40 (M ± SD) | 0,94 (Me) | 2,27 (Me) |
| C3 A1 | 0,22 ± 0,07 (M ± SD) | 0,44 (Me) | 1,08 ± 0,45 (M ± SD) | 0,87 ± 0,28 (M ± SD) | 2,09 ± 0,42 (M ± SD) |
| C4 A2 | 0,23 (Me) | 0,48 (Me) | 1,18 ± 0,50 (M ± SD) | 0,98 (Me) | 2,22 (Me) |

| | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| O1 A1 | 0,24 ± 0,08 (M ± SD) | 0,52 ± 0,20 (M ± SD) | 1,65 ± 0,81 (M ± SD) | 0,91 (Me) | 2,29 (Me) |
| O2 A2 | 0,25 (Me) | 0,55 (Me) | 1,77 ± 0,89 (M ± SD) | 0,97 (Me) | 2,34 (Me) |
| T3 A1 | 0,16 (Me) | 0,32 (Me) | 0,65 ± 0,24 (M ± SD) | 0,59 ± 0,17 (M ± SD) | 1,91 (Me) |
| T4 A2 | 0,19 ± 0,05 (M ± SD) | 1,62 ± 0,64 (M ± SD) | 0,79 (Me) | 3,59 ± 1,47 (M ± SD) | 1,96 (Me) |
| Примечание – M – среднее значение; SD – стандартное отклонение; Me – медиана; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | | | |

Для выборки с нормальным распределением значений мы высчитывали среднее значение этих данных (M) и их средние отклонения (SD). Если выборка имела ненормальное распределение, для более точного и корректного подсчета использовали медиану (Me). Анализу подлежат только аналогичные показатели средних величин.

В высокочастотном бета-диапазоне самый низкий показатель получен в отведении T3 A1, что соответствует локализации средневисочной области справа. В отведении Fp1 A1 данное значение выше на 38%, в Fp2 A2 выше на 44%, в C4 A2 выше на 44%, в O2 A2 выше на 56%. Среднее значение в отведении C3 A1 выше медианы в отведении T4 A2 на 19%, в T3 A1 выше на 38%, в O1 A1 выше на 50%. Максимальное значение установлено в отведении O2 A2, что говорит о высокой активности затылочной области слева.

При сравнительном анализе показателей низкочастотного бета-диапазона минимальное значение выявлено в средневисочной области справа, которое фиксирует отведение T3 A1. В отведении Fp1 A1 показатель выше 31%, в C3 A1 выше на 38%, в Fp2 A2 выше на 47%, в C4 A2 выше на 50%, в O2 A2 выше на 72%. Среднее значение в отведении O1 A1 выше медианы в отведении T3 A1 на 63%, в T4 A2 выше на 406%. Максимальная активность зафиксирована в отведении T4 A2, которое расположено в проекции средневисочной доли слева.

В альфа-диапазоне минимальная активность регистрируется в отведении T3 A1. Значения в отведении Fp1 A1 выше 46%, в Fp2 A2 выше на 63%, в C3 A1 выше

на 66%, в С4 А2 выше на 82%, в О1 А1 выше на 154%, в О2 А2 выше на 172%. Медиана в Т4 А2 выше среднего значения в отведении Т3 А1 на 22%. Максимальная активность наблюдается в затылочной области справа, в отведении О2 А2.

Сравнение в тета-диапазоне установило, что наименьший показатель зарегистрирован в отведении Т3 А1. Значения в отведении С3 А1 выше на 47%, в. Fp1 А1 выше 56%, в Т4 А2 выше на 508%. Медиана в Fp2 А2 выше среднего значения в отведении Т3 А1 на 59%, в О1 А1 выше на 54%, в О2 А2 выше на 64%, в С4 А2 выше на 66%. Наивысшую активность показывает средневисочная область справа по показателю в отведении Т4 А2.

В дельта-диапазоне в отведении Т3 А1 минимальное значение активности головного мозга. В Т4 А2 выше на 3%, в С4 А2 выше на 16%, в Fp1 А1 выше на 18%, в Fp2 А2 выше на 19%, в О1 А1 выше на 20%, в О2 А2 выше на 23%. Среднее значение в отведении С3 А1 выше медианы в отведении Т3 А1 выше на 9%. Наивысшее значение записано в отведении О2 А2.

Сравнительный анализ амплитудного спектра установил наименьшую активность в средневисочной области слева во всех частотных диапазонах, которую записывает отведение Т3 А1. Максимальные значения зафиксированы в отведении О2 А2 в высокочастотном бета-, альфа-, дельта-диапазонах и в отведении Т4 А2 в низкочастотном бета- и тета-диапазонах, что указывает на высокую активность затылочной и средневисочной области справа (Таблица 22).

При оценке результатов спектра мощности в высокочастотном бета-диапазоне минимальные значения установлены в отведении Т3 А1, которое записывает активность коры больших полушарий в средневисочной области слева. В отведении Т4 А2 выше на 50%, в Fp1 А1 значения выше на 125%, в Fp2 А2 выше на 125%, в С3 А1 выше на 125%, в С4 А2 выше на 125%, в О1 А1 выше на 150%, в О2 А2 выше на 175%. Максимальная активность выявлена в затылочной области справа, отведение О2 А2.

В низкочастотном бета-диапазоне минимальные значения зафиксированы в отведении Т3 А1. В отведении Т4 А2 выше на 27%, в Fp1 А1 значения выше на

87%, в С3 А1 выше на 113%, в Fp2 А2 выше на 133%, в С4 А2 выше на 140%, в О1 А1 выше на 180%, в О2 А2 выше на 220%. Наивысшая активность установлена в отведение О2 А2, которое находится в затылочной области справа.

Отведение Т3 А1 также показывает самый низкий результат в альфа-диапазоне спектра мощности. В Т4 А2 выше на 61%, в Fp1 А1 значения выше на 120%, в Fp2 А2 выше на 177%, в С3 А1 выше на 195%, в С4 А2 выше на 252%, в О1 А1 выше на 720%, в О2 А2 выше на 847%. В затылочной области справа вновь установлена наивысшая активность, отведение О2 А2.

Таблица 22 – Средние показатели спектра мощности ЭЭГ в группе мужского пола, мкВ

| Отведения | Выс. бета-диапазон | Низ. бета-диапазон | Альфа-диапазон | Тета-диапазон | Дельта-диапазон |
|-----------|--------------------|--------------------|----------------|---------------|--------------------------|
| Fp1 А1 | 0,09 (Me) | 0,28 (Me) | 1,52 (Me) | 1,19 (Me) | 9,43 (Me) |
| Fp2 А2 | 0,09 (Me) | 0,35 (Me) | 1,84 (Me) | 1,24 (Me) | 11,83 (Me) |
| С3 А1 | 0,09 (Me) | 0,32 (Me) | 2,04 (Me) | 1,06 (Me) | 8,62 (Me) |
| С4 А2 | 0,09 (Me) | 0,36 (Me) | 2,43 (Me) | 1,42 (Me) | 11,36 ± 7,54 (M ± SD) |
| О1 А1 | 0,10 (Me) | 0,42 (Me) | 5,66 (Me) | 1,20 (Me) | 10,85 ± 6,46 (M ± SD) |
| О2 А2 | 0,11 (Me) | 0,48 (Me) | 6,54 (Me) | 2,52 (Me) | 13,58 (Me) |
| Т3 А1 | 0,04 (Me) | 0,15 (Me) | 0,69 (Me) | 1,00 (Me) | 8,68 (Me) |
| Т4 А2 | 0,06 (Me) | 0,19 (Me) | 1,11 (Me) | 0,67 (Me) | 9,95 (Me) |

Примечание – М – среднее значение; SD – стандартное отклонение; Me – медиана; Fp1 А1, Fp2 А2, С3 А1, С4 А2, О1 А1, О2 А2, Т3 А1, Т4 А2 отведения электроэнцефалограммы.

В тета-диапазоне самый низкий показатель в отведении Т4 А2, который характеризует работу средневисочной области справа. В отведении Т3 А1 выше на 49%, в С3 А1 выше на 58%, в Fp1 А1 значения выше на 78%, в О1 А1 выше на 79%, в Fp2 А2 выше на 85%, в С4 А2 выше на 112%, в О2 А2 выше на 276%. Наибольший

показатель находится в отведении O2 A2.

Отведение C3 A1 имеет наименьшее значение в дельта-диапазоне спектра мощности. В T3 A1 выше на 1%, в Fp1 A1 значения выше на 9%, в T4 A2 выше 15%, в Fp2 A2 выше на 37%, в O2 A2 выше на 56%. Среднее значение в отведении C4 A2 выше медианы в O1 A1 выше на 26%, в C3 A1 выше на 32%. Максимальное значение выявлено в отведении Fp2 A2 и говорит о высокой дельта-активности в лобной доле справа.

Сравнительный анализ спектра мощности показал, что наименее активируемым участком в исполнении программы двигательного акта является средневисочная область слева, в отведении T3 A1, в высоко- и низкочастотных бета-диапазонах, альфа-диапазоне, отведении T4 A2 в тета-диапазоне, что характеризует средневисочную область слева и в отведении C3 A1 в дельта-диапазоне, которое расположено в центральной премоторной области слева. Максимальные значения выявлены в отведении O2 A2 в высоко- и низкочастотных бета-, альфа- и тета диапазонах, которое показывает работу затылочной области коры больших полушарий справа, а также в отведении Fp2 A2 в дельта-диапазоне, которое характеризует работу лобной доли справа.

4.4. Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения характеристик электрической активности головного мозга при выполнении произвольного двигательного акта у испытуемых мужского пола

Был проведен внутрисистемный корреляционный анализ показателей амплитудного спектра ЭЭГ в различных отведениях в состоянии покоя (Таблица 23).

Таблица 23 – Коэффициент корреляции показателей амплитудного спектра в различных отведениях у мужчин

| | Высок. бета- диапазон | Низко. бета- диапазон | Альфа- диапазон | Тета- диапазон | Дельта- диапазон |
|---|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,261 | 0,278 | 0,563* | 0,325 | 0,317 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,243 | 0,254 | 0,578* | 0,384 | 0,384 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,312 | 0,344 | 0,521 | 0,365 | 0,334 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,202 | 0,189 | 0,532 | 0,384 | 0,321 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,247 | 0,264 | 0,487* | 0,254 | 0,260 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,189 | 0,201 | 0,459 | 0,296 | 0,362 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,362* | 0,344 | 0,491 | 0,301 | 0,284 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,301 | 0,298 | 0,462 | 0,199 | 0,569* |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,289 | 0,354 | 0,399 | 0,321 | 0,389 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,263 | 0,280 | 0,511* | 0,289 | 0,280 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,311 | 0,321 | 0,524 | 0,398 | 0,299 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,297 | 0,354 | 0,536* | 0,324 | 0,301 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,345 | 0,187 | 0,489 | 0,387 | 0,247 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,274 | 0,314 | 0,523* | 0,315 | 0,265 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,347 | 0,398* | 0,377 | 0,214 | 0,398 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,379 | 0,265 | 0,526 | 0,289 | 0,224 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,284 | 0,299 | 0,321 | 0,284 | 0,467* |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,299 | 0,365 | 0,365 | 0,364 | 0,287 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,305 | 0,316 | 0,489 | 0,367 | 0,236 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,115 | 0,118 | 0,471 | 0,259 | 0,289 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,346 | 0,354 | 0,351 | 0,349* | 0,365 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,247 | 0,321 | 0,569* | 0,218 | 0,374 |
| O1 A1– O2 A2 | 0,284 | 0,295 | 0,245 | 0,306 | 0,304 |
| O1 A1– T3 A1 | 0,334 | 0,331 | 0,354 | 0,360 | 0,312 |
| O1 A1– T4 A2 | 0,213 | 0,214 | 0,456 | 0,289 | 0,287 |
| O2 A2– T3 A1 | 0,354 | 0,247 | 0,482 | 0,254 | 0,369 |
| O2 A2– T4 A2 | 0,118 | 0,265 | 0,524* | 0,317 | 0,189 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,394* | 0,347 | 0,399 | 0,227 | 0,311 |
| Примечание – Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы; * - статистически значимые различия. | | | | | |

При проведении корреляционного анализа показателей амплитудного спектра ЭЭГ высокочастотного бета-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 24).

Таблица 24 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в высокочастотном бета-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,851 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,824 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,807 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,788 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,723 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,732 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,760 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,851 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,960 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,728 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,813 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,610 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,743 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,840 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,829 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,827 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,666 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,552 | Заметная | 0,003 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,747 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,859 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,627 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,759 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,903 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,557 | Заметная | 0,003 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,598 | Заметная | 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,581 | Заметная | 0,002 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,644 | Заметная | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,565 | Заметная | 0,003 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

Сравнительный анализ и определение силы связи корреляционных взаимоотношений проводился на основе различий в значениях коэффициента корреляции Спирмена. Разница между показателями высчитывается относительно самых минимальных значений взаимосвязи.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями С3 А1 – Т4 А2, характеризуется как заметная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре О1 А1– Т3 А1 выше на 1%, характеризуется как заметная; Т3 А1 – Т4 А2 выше на 2%, характеризуется как заметная; О2 А2– Т3 А1 выше на 5%, характеризуется как заметная; О1 А1– Т4 А2 выше на 8%, характеризуется как заметная; Fp2 А2 – Т3 А1 выше на 11%, характеризуется как заметная; С4 А2 – Т3 А1 выше на 14%, характеризуется как заметная; О2 А2– Т4 А2 выше на 17%, характеризуется как заметная; С3 А1 – Т3 А1 выше на 21%, характеризуется как заметная; Fp1 А1 – О2 А2 выше на 31%, характеризуется как высокая; Fp2 А2 – О1 А1 выше на 32%, характеризуется как высокая; Fp1 А1 – Т3 А1 выше на 33%, характеризуется как высокая; Fp2 А2 – Т4 А2, С4 А2 – О1 А1 выше на 35%, характеризуется как высокая; Fp1 А1 – Т4 А2, С4 А2 – Т4 А2 выше на 38%, характеризуется как высокая; Fp1 А1 – О1 А1 выше на 43%, характеризуется как высокая; Fp1 А1 – С4 А2 выше на 46%, характеризуется как высокая; Fp2 А2 – О2 А2 выше на 47%, характеризуется как высокая; Fp1 А1 – С3 А1 выше на 49%, характеризуется как высокая; С3 А1 – О1 А1, С3 А1 – О2 А2 выше на 50%, характеризуется как высокая; С3 А1 – С4 А2 выше на 52%, характеризуется как высокая; Fp1 А1 – Fp2 А2, Fp2 А2 – С3 А1 выше на 54%, характеризуется как высокая; С4 А2 – О2 А2 выше на 57%, характеризуется как высокая; О1 А1– О2 А2 выше на 64%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 А2 – С4 А2 выше на 74%, характеризуется как весьма высокая.

Самая сильная взаимосвязь выявлена в отведениях Fp2 А2 – С4 А2, которые характеризуют тесное взаимодействие лобных отделов коры справа и центральной премоторной области справа, а также в отведениях О1 А1– О2 А2, и говорят о сильной связи затылочных отделов коры справа и слева. Данные зависимости показывают высокую активность зрительных ассоциативных зон между собой и усиление связи первичных и третичных моторных полей.

При проведении корреляционного анализа показателей спектра мощности ЭЭГ высокочастотного бета-диапазона в различных отведениях при выполнении

бимануального произвольного движения после выполнения заданий суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 25).

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями T3 A1 – T4 A2, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре O2 A2– T3 A1 выше на 16%, характеризуется как заметная; C3 A1 – T4 A2 выше на 22%, характеризуется как заметная.

Таблица 25 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в высокочастотном бета-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,877 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,833 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,844 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,801 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,724 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1– T3 A1 | 0,686 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,709 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,831 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,939 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,742 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2– O2 A2 | 0,735 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,605 | Заметная | 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,786 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,805 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,813 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,727 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,722 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,552 | Заметная | 0,003 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,786 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,835 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,633 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,723 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,893 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,613 | Заметная | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,581 | Заметная | 0,002 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,525 | Заметная | 0,006 |

| | | | |
|--|-------|-----------|---------|
| O2 A2 – T4 A2 | 0,628 | Заметная | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,454 | Умеренная | 0,020 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

O1 A1– T4 A2 выше на 28%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – T3 A1 выше на 33%, характеризуется как заметная; O1 A1– T3 A1 выше на 35%, характеризуется как заметная; O2 A2– T4 A2 выше на 38%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T3 A1 выше на 39%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 51%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – T4 A2 выше на 56%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O2 A2, C3 A1 – T3 A1, C4 A2 – T4 A2 выше на 59%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O2 A2 выше на 60%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 62%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 63%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2, C4 A2 – O1 A1 выше на 73%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 76%, характеризуется как высокая; C3 A1 – C4 A2 выше на 77%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O1 A1 выше на 79%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1, Fp2 A2 – C3 A1 выше на 83%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 84%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 86%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 93%, характеризуется как высокая; O1 A1– O2 A2 выше на 97%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 107%, характеризуется как весьма высокая (Рис.).

Наиболее тесная связь установлена в отведениях Fp2 A2 – C4 A2 и говорит о сочетанной работе лобного отдела коры справа и центральной премоторной области справа, а именно первичных и третичных моторных зон.

При проведении корреляционного анализа показателей амплитудного спектра ЭЭГ низкочастотного бета-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 26).

Таблица 26 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в низкочастотном бета-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,882 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,943 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,898 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,678 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,766 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,720 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,801 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,827 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,969 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,640 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,804 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,625 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,917 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,868 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,683 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,802 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,706 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,767 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,719 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,860 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,668 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,890 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,924 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,785 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,598 | Заметная | 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,721 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,746 | Высокая | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,541 | Заметная | 0,004 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

Самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями T3 A1 – T4 A2, характеризуется как заметная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре O1 A1 – T4 A2 выше на 10%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – T3 A1 выше на 16%,

характеризуется как заметная; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 18%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T3 A1 выше на 23%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 25%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O1 A1 выше на 26%, характеризуется как заметная; C3 A1 – T3 A1 выше на 30%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T3 A1, C4 A2 – O1 A1, O2 A2 – T3 A1 выше на 33%, характеризуется как высокая; O2 A2 – T4 A2 выше на 38%, характеризуется как заметная; C3 A1 – T4 A2, Fp1 A1 – O2 A2 выше на 42%, характеризуется как высокая; O1 A1 – T3 A1 выше на 45%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2, C3 A1 – O2 A2 выше на 48%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 49%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C3 A1 выше на 53%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 59%, характеризуется как высокая; C3 A1 – C4 A2 выше на 60%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 63%, характеризуется как высокая; C4 A2 – T4 A2 выше на 65%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 66%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 70%, характеризуется как весьма высокая; O1 A1 – O2 A2 выше на 71%, Fp1 A1 – C3 A1 выше на 74%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 79%, характеризуется как весьма высокая; характеризуется как весьма высокая.

Наибольший показатель связи выявлен в парах отведений Fp2 A2 – C4 A2 и Fp2 A2 – T4 A2 и говорит о тесноте взаимодействий фронтальных областей коры справа и центральных премоторных областей справа, средневисочных полей справа и характеризует взаимодействие первичных, вторичных и третичных моторных полей между собой. Высокий показатель также установлен между лобной долей слева и центральной премоторной зоной слева (первичные и третичные моторные поля по Бродману), в области проекции отведений Fp1 A1 – C3 A1 и между затылочными участками коры справа и слева, в отведениях O1 A1 – O2 A2, которые показывают активизацию зрительной ассоциативной коры.

При проведении корреляционного анализа показателей спектра мощности ЭЭГ низкочастотного бета-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий

суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 27).

Наименьший показатель прямой двухсторонней статистически значимой корреляционной связи установлен между отведениями Т3 А1 – Т4 А2, характеризуется как заметная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре Fp2 А2 – Т3 А1 выше на 4%, характеризуется как заметная; О1 А1– Т4 А2 выше на 10%, характеризуется как заметная; С4 А2 – Т3 А1, О2 А2– Т3 А1 выше на 12%, характеризуется как заметная; Fp1 А1 – Т3 А1 выше на 17%, характеризуется как высокая; Fp1 А1 – О1 А1 выше на 19%, характеризуется как высокая; Fp2 А2 – О1 А1 выше на 21%, характеризуется как высокая; С3 А1 – Т3 А1 выше на 25%, характеризуется как высокая; О1 А1– Т3 А1 выше на 26%, характеризуется как высокая; Fp1 А1 – О2 А2 выше на 28%, характеризуется как высокая; С4 А2 – О1 А1, О2 А2– Т4 А2 выше на 29%, характеризуется как высокая.

Таблица 27 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в низкочастотном бета-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 А1 – Fp2 А2 | 0,915 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 А1 – С3 А1 | 0,929 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 А1 – С4 А2 | 0,931 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 А1 – О1 А1 | 0,739 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 А1 – О2 А2 | 0,795 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 А1– Т3 А1 | 0,730 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 А1 – Т4 А2 | 0,848 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 А2 – С3 А1 | 0,842 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 А2 – С4 А2 | 0,974 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 А2 – О1 А1 | 0,755 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 А2– О2 А2 | 0,852 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 А2 – Т3 А1 | 0,646 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 А2 – Т4 А2 | 0,938 | Весьма высокая | < 0,001 |
| С3 А1 – С4 А2 | 0,892 | Высокая | < 0,001 |
| С3 А1 – О1 А1 | 0,809 | Высокая | < 0,001 |
| С3 А1 – О2 А2 | 0,854 | Высокая | < 0,001 |
| С3 А1 – Т3 А1 | 0,775 | Высокая | < 0,001 |
| С3 А1 – Т4 А2 | 0,811 | Высокая | < 0,001 |

| | | | |
|--|-------|----------------|---------|
| C4 A2 – O1 A1 | 0,802 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,877 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,697 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,914 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,947 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,781 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,687 | Заметная | < 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,699 | Заметная | < 0,001 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,802 | Высокая | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,622 | Заметная | < 0,001 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

C4 C3 A1 – O1 A1, C3 A1 – T4 A2 выше на 30%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C3 A1 выше на 35%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2 выше на 36%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O2 A2, C3 A1 – O2 A2 выше на 37%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 41%, характеризуется как высокая; C3 A1 – C4 A2 выше на 43%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2, C4 A2 – T4 A2 выше на 47%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 49%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 50%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 51%, характеризуется как весьма высокая; O1 A1 – O2 A2 выше на 52%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 57%, характеризуется как весьма высокая. Наиболее тесная связь выявлена в парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C3 A1, Fp1 A1 – C4 A2 и говорит о сильном взаимном влиянии лобных отделов коры слева с лобной долей слева, центральным моторным участком слева и центральным моторным участком справа. Также в парах отведений Fp2 A2 – C4 A2, Fp2 A2 – T4 A2, которые характеризуют тесную связь фронтальной области коры справа с центральной моторной и средневисочной областями справа. В отведениях C4 A2 – T4 A2 и O1 A1 – O2 A2, установлена весьма высокая связь, следовательно, показывает совместную работу центральной премоторной области справа со средневисочной областью справа и затылочные доли между собой.

При проведении корреляционного анализа показателей амплитудного спектра ЭЭГ альфа-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 28).

Таблица 28 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в альфа-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,968 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,899 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,906 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,879 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,867 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,852 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,917 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,894 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,904 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,889 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,869 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,820 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,918 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,928 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,822 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,770 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,928 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,906 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,791 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,775 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,848 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,946 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,950 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,746 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,821 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,660 | Заметная | < 0,001 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,814 | Высокая | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,837 | Высокая | < 0,001 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

Минимальное значение прямой двухсторонней статистически значимой корреляционной связи установлен между отведениями O2 A2– T3 A1, характеризуется как заметная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре O1 A1– T3 A1 выше на 13%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O2 A2, C4 A2 – O2 A2 выше на 17%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O1 A1 выше на 20%, характеризуется как высокая; O2 A2– T4 A2 выше на 23%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T3 A1, O1 A1– T4 A2 выше на 24%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O1 A1 выше на 25%, характеризуется как высокая; T3 A1 – T4 A2 выше на 27%, характеризуется как высокая; C4 A2 – T3 A1 выше на 28%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 29%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O2 A2 выше на 31%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 32%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 33%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C3 A1, Fp2 A2 – O1 A1 выше на 35%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 36%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C4 A2, Fp2 A2 – C4 A2, C3 A1 – T4 A2 выше на 37%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – T4 A2, Fp2 A2 – T4 A2 выше на 39%, характеризуется как весьма высокая; C3 A1 – C4 A2, C3 A1 – T3 A1 выше на 41%, характеризуется как весьма высокая; C4 A2 – T4 A2 выше на 43%, характеризуется как весьма высокая; O1 A1– O2 A2 выше на 44%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 47%, характеризуется как весьма высокая.

Наивысшие показатели взаимосвязи зафиксированы в парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – O1 A1 показывают связь между лобной областью коры слева и центральной премоторной областью справа, затылочной областью слева, фронтальной областью справа, в паре отведений Fp2 A2 – O1 A1 установлена связь между фронтальной областью коры слева и затылочной областью справа, в C3 A1 – T3 A1 существует сильная связь между центральным отделом моторной коры слева и средневисочным отделом слева, а также в O1 A1 – O2 A2 говорит о взаимосвязи в затылочных отделах коры справа и слева. Выявленные взаимосвязи показывают тесную работу первичных, третичных моторных полей и области зрительной памяти.

При проведении корреляционного анализа показателей спектра мощности ЭЭГ альфа-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 29).

Таблица 29 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в альфа-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,959 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,876 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,926 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,916 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,894 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,812 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,864 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,868 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,891 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,902 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,850 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,788 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,822 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,890 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,857 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,807 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,923 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,784 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,863 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,871 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,853 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,886 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,933 | Весьма высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,773 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,775 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,688 | Заметная | < 0,001 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,801 | Высокая | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,778 | Высокая | < 0,001 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

Минимальное значение прямой двухсторонней статистически значимой корреляционной связи установлен между отведениями O2 A2– T3 A1, характеризуется как заметная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре O1 A1– T3 A1 выше на 12%, характеризуется как высокая; T3 A1 – T4 A2, O1 A1– T4 A2 выше на 13%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T4 A2 выше на 14%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T3 A1 выше на 15%, характеризуется как высокая; O2 A2– T4 A2 выше на 16%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O2 A2 выше на 17%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 18%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 19%, характеризуется как высокая; C4 A2 – T3 A1 выше на 24%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O1 A1, C4 A2 – O1 A1 выше на 25%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2,; Fp2 A2 – C3 A1 выше на 26%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1, C4 A2 – O2 A2 выше на 27%, характеризуется как высокая; C3 A1 – C4 A2, C4 A2 – T4 A2 выше на 29%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2, Fp1 A1 – O2 A2 выше на 30%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 31%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 33%, характеризуется как весьма высокая; C3 A1 – T3 A1 выше на 34%, характеризуется как весьма высокая; Fp1 A1 – C4 A2 выше на 35%, характеризуется как весьма высокая; O1 A1– O2 A2 выше на 36%, характеризуется как весьма высокая; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 37%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 39%, характеризуется как весьма высокая.

Максимальная активность отмечается в электродах Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – O1 A1 и характеризует тесную взаимосвязь лобной коры слева с лобной долей справа, центральной премоторной корой справа, затылочной областью слева. В Fp2 A2 – O1 A1 показывает связь фронтальную область справа и затылочную область слева. В C3 A1 – T3 A1 сочетанное взаимодействие центральной премоторной коры слева и средневисочной области слева, а также в отведениях O1 A1 – O2 A2 показывает связь затылочных областей между собой.

При проведении корреляционного анализа показателей амплитудного спектра ЭЭГ тета-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий

суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 30).

Наименьшая степень прямой двухсторонней статистически значимой корреляционной связи установлена между отведениями O1 A1– T4 A2, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока.

Таблица 30 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в тета-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,920 | Весьма высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,684 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,688 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,748 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,745 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,831 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,680 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,727 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,746 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,688 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,738 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,811 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,680 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,895 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,661 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,700 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,847 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,654 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,677 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,819 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,797 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,553 | Заметная | 0,003 |
| O1 A1– O2 A2 | 0,864 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1– T3 A1 | 0,705 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1– T4 A2 | 0,460 | Умеренная | 0,018 |
| O2 A2– T3 A1 | 0,788 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2– T4 A2 | 0,506 | Заметная | 0,008 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,727 | Высокая | < 0,001 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

Взаимосвязь в паре O2 A2– T4 A2 выше на 10%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T4 A2 выше на 20%, характеризуется как заметная; C3 A1 – T4 A2 выше на 42%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O1 A1 выше на 44%, характеризуется как заметная; C4 A2 – O1 A1 выше на 47%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – T4 A2, Fp2 A2 – T4 A2 выше на 48%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 49%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C4 A2, Fp2 A2 – O1 A1 выше на 50%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O2 A2 выше на 52%, характеризуется как высокая; O1 A1– T3 A1 выше на 53%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C3 A1, T3 A1 – T4 A2 выше на 58%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 60%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O2 A2, Fp2 A2 – C4 A2 выше на 62%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 63%, характеризуется как высокая; O2 A2– T3 A1 выше на 71%, характеризуется как высокая; C4 A2 – T3 A1 выше на 73%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T3 A1 выше на 76%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 78%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 81%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T3 A1 выше на 84%, характеризуется как высокая; O1 A1– O2 A2 выше на 88%, характеризуется как высокая; C3 A1 – C4 A2 выше на 95%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2 выше на 100%, характеризуется как весьма высокая.

Наивысший показатель взаимосвязи зафиксирован в паре отведений Fp1 A1 – Fp2 A2 и говорит о тесной взаимосвязи фронтальных отделов коры больших полушарий между собой.

При проведении корреляционного анализа показателей спектра мощности ЭЭГ тета-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 31).

Таблица 31 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в тета-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,896 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,664 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,603 | Заметная | 0,001 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,746 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,694 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1– T3 A1 | 0,766 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,720 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,718 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,692 | Заметная | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,721 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2– O2 A2 | 0,726 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,707 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,697 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,896 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,693 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,728 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,773 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,663 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,607 | Заметная | 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,762 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | 0,627 | Заметная | < 0,001 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,571 | Заметная | 0,002 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,851 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,713 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,484 | Умеренная | 0,012 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,710 | Высокая | < 0,001 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,519 | Заметная | 0,007 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,693 | Заметная | < 0,001 |

Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы.

Минимальное значение прямой двухсторонней статистически значимой корреляционной связи установлена между отведениями O1 A1– T4 A2, характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре O2 A2– T4 A2 выше на 7%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T4 A2 выше на 18%,

характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C4 A2, C4 A2 – O1 A1 выше на 25%, характеризуется как заметная; C4 A2 – T3 A1 выше на 30%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C3 A1, C3 A1 – T4 A2 выше на 37%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – O2 A2, Fp2 A2 – C4 A2, C3 A1 – O1, T3 A1 – T4 A2A1 выше на 43%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 44%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – T3 A1 выше на 46%, характеризуется как высокая; O1 A1– T3 A1, O2 A2– T3 A1 выше на 47%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C3 A1 выше на 48%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T4 A2, Fp2 A2 – O1 A1 выше на 49%, характеризуется как высокая; C3 A1 – O2 A2, Fp2 A2 – O2 A2 выше на 50%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – O1 A1 выше на 54%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 57%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 58%, характеризуется как высокая; C3 A1 – T3 A1 выше на 60%, характеризуется как высокая; O1 A1– O2 A2 выше на 76%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – Fp2 A2, C3 A1 – C4 A2 выше на 85%, характеризуется как высокая.

Тесная связь выявлена в отведениях C3 A1 – C4 A2 и Fp1 A1 – Fp2 A2 говорит о взаимодействии правых и левых отделов фронтальной коры и центральных премоторных зон. Данные связи исключают межполушарную асимметрию между первичными и третичными моторными полями соответственно.

При проведении корреляционного анализа показателей амплитудного спектра ЭЭГ дельта-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 32).

Таблица 32 – Характеристика корреляционной связи показателей амплитудного спектра в дельта диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,219 | Слабая | 0,283 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,634 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,122 | Слабая | 0,551 |

| | | | |
|--|--------|----------------|----------|
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,181 | Слабая | 0,376 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,553 | Заметная | 0,003 |
| Fp1 A1 – T3 A1 | 0,499 | Умеренная | 0,010 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,384 | Умеренная | 0,053 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,239 | Слабая | 0,240 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,880 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,867 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O2 A2 | 0,121 | Слабая | 0,557 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,144 | Слабая | 0,483 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,838 | Высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,214 | Слабая | 0,294 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,259 | Слабая | 0,202 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,696 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T3 A1 | 0,619 | Заметная | < 0,001 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,409 | Умеренная | 0,038 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,971 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,147 | Слабая | 0,475 |
| C4 A2 – T3 A1 | -0,021 | Нет связи | 0,917 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,814 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,167 | Слабая | 0,414 |
| O1 A1 – T3 A1 | -0,020 | Нет связи | 0,923 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,797 | Высокая | < 0,001* |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,393 | Умеренная | 0,047* |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,372 | Умеренная | 0,061 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,206 | Слабая | 0,313 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

В парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – O1 A1, Fp1 A1 – T4 A2, Fp2 A2 – C3 A1, Fp2 A2 – O2 A2, Fp2 A2 – T3 A1, C3 A1 – C4 A2, C3 A1 – O1 A1, C4 A2 – O2 A2, C4 A2 – T3 A1, O1 A1 – O2 A2, O1 A1 – T3 A1, O2 A2 – T4 A2, T3 A1 – T4 A2 статистически значимых связей не обнаружено.

Минимальное значение прямой двухсторонней корреляционной связи установлено в паре отведений O2 A2 – T3 A1, которая характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре C3 A1 – T4 A2 выше на 4%, характеризуется как умеренная; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 27%, характеризуется как умеренная; Fp1 A1 – O2 A2 выше на 41%, характеризуется как заметная; C3 A1 –

T3 A1 выше на 58%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 61%, характеризуется как заметная; C3 A1 – O2 A2 выше на 77%, характеризуется как заметная; O1 A1– T4 A2 выше на 103%, характеризуется как высокая; C4 A2 – T4 A2 выше на 107%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 113%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – O1 A1 выше на 121%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 124%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O1 A1 выше на 147%, характеризуется как весьма высокая.

Наивысшая активность регистрируется в отведениях C4 A2 – O1 A1 и характеризует тесную работу центральной премоторной области справа и затылочной области слева.

При проведении корреляционного анализа показателей спектра мощности ЭЭГ дельта-диапазона в различных отведениях при выполнении бимануального произвольного движения после выполнения заданий суппортметрии были получены следующие результаты (Таблица 33).

Таблица 33 – Характеристика корреляционной связи показателей спектра мощности в дельта-диапазоне в различных отведениях у мужчин

| Отведения | Характеристика корреляционной связи | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| | ρ | Теснота связи по шкале Чеддока | p |
| Fp1 A1 – Fp2 A2 | 0,225 | Слабая | 0,269 |
| Fp1 A1 – C3 A1 | 0,840 | Высокая | < 0,001 |
| Fp1 A1 – C4 A2 | 0,155 | Слабая | 0,450 |
| Fp1 A1 – O1 A1 | 0,362 | Умеренная | 0,069 |
| Fp1 A1 – O2 A2 | 0,283 | Слабая | 0,161 |
| Fp1 A1– T3 A1 | 0,660 | Заметная | < 0,001 |
| Fp1 A1 – T4 A2 | 0,251 | Слабая | 0,216 |
| Fp2 A2 – C3 A1 | 0,107 | Слабая | 0,602 |
| Fp2 A2 – C4 A2 | 0,824 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – O1 A1 | 0,192 | Слабая | 0,348 |
| Fp2 A2– O2 A2 | 0,769 | Высокая | < 0,001 |
| Fp2 A2 – T3 A1 | 0,075 | Нет связи | 0,717 |
| Fp2 A2 – T4 A2 | 0,920 | Весьма высокая | < 0,001 |
| C3 A1 – C4 A2 | 0,185 | Слабая | 0,367 |
| C3 A1 – O1 A1 | 0,498 | Умеренная | 0,010 |
| C3 A1 – O2 A2 | 0,262 | Слабая | 0,196 |

| | | | |
|--|--------|-----------|---------|
| C3 A1 – T3 A1 | 0,581 | Заметная | 0,002 |
| C3 A1 – T4 A2 | 0,124 | Слабая | 0,546 |
| C4 A2 – O1 A1 | 0,293 | Слабая | 0,146 |
| C4 A2 – O2 A2 | 0,828 | Высокая | < 0,001 |
| C4 A2 – T3 A1 | -0,051 | Нет связи | 0,804 |
| C4 A2 – T4 A2 | 0,773 | Высокая | < 0,001 |
| O1 A1 – O2 A2 | 0,339 | Умеренная | 0,090 |
| O1 A1 – T3 A1 | 0,196 | Слабая | 0,337 |
| O1 A1 – T4 A2 | 0,370 | Умеренная | 0,063 |
| O2 A2 – T3 A1 | 0,138 | Слабая | 0,502 |
| O2 A2 – T4 A2 | 0,787 | Высокая | < 0,001 |
| T3 A1 – T4 A2 | 0,130 | Слабая | 0,525 |
| Примечание – ρ – коэффициент корреляции Спирмена; p – показатель статистической значимости; Fp1 A1, Fp2 A2, C3 A1, C4 A2, O1 A1, O2 A2, T3 A1, T4 A2 отведения электроэнцефалограммы. | | | |

В парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – O1 A1, Fp1 A1 – O2 A2, Fp1 A1 – T4 A2, Fp2 A2 – C3 A1, Fp2 A2 – O1 A1, Fp2 A2 – T3 A1, C3 A1 – C4 A2, C3 A1 – O2 A2, C4 A2 – T3 A1, O1 A1 – O2 A2, O1 A1 – T3 A1, O2 A2 – T4 A2, O2 A2 – T3 A1, T3 A1 – T4 A2 статистически значимых связей не обнаружено.

Наименьший показатель прямой двухсторонней корреляционной связи установлен в паре отведений C3 A1 – O1 A1, которая характеризуется как умеренная по шкале Чеддока. Взаимосвязь в паре C3 A1 – T3 A1 выше на 17%, характеризуется как заметная; Fp1 A1 – T3 A1 выше на 33%, характеризуется как заметная; Fp2 A2 – O2 A2 выше на 54%, характеризуется как высокая; C4 A2 – T4 A2 выше на 55%, характеризуется как высокая; O2 A1 – T4 A2 выше на 58%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – C4 A2 выше на 65%, характеризуется как высокая; C4 A2 – O2 A2 выше на 66%, характеризуется как высокая; Fp1 A1 – C3 A1 выше на 69%, характеризуется как высокая; Fp2 A2 – T4 A2 выше на 85%, характеризуется как весьма высокая. Наибольшее значение зарегистрировано в отведениях Fp2 A2 – T4 A2 и говорит о тесной связи фронтальной области справа и средневисочной областью слева.

4.5. Сравнительная характеристика электрической активности головного мозга при выполнении движения в группе испытуемых женского и мужского пола

Исходя из полученных средних показателей в выборках испытуемых, был проведен сравнительный анализ средних значений и медиан (Рисунок 9).

В отведении Fp1 A1, которое фиксирует активность в лобной доле слева, в высокочастотном бета-диапазоне сравнение не представляется возможным, ввиду различных критериев среднего показателя. В низкочастотном бета-диапазоне медиана в группе испытуемых женщин выше 12% ($p < 0,001$) аналогичных показателей у мужчин, в альфа-диапазоне среднее значение выше на 5% ($p < 0,001$), в тета-диапазоне значения равны, в дельта-диапазоне уровень активности в мужской группе выше на 5% ($p < 0,001$). В отведении Fp2 A2, в проекции лобной доли справа, в высокочастотном бета-диапазоне результат измерений выше в женской группе на 387% ($p < 0,001$), в низкочастотном бета-диапазоне выше на 4% ($p < 0,001$), в альфа-диапазоне выше на 3% ($p < 0,001$), в тета-диапазоне выше на 9% ($p < 0,001$), в дельта-диапазоне выше на 4% ($p < 0,001$). В отведении C3 A1, которое характеризует активность центральной премоторной коры слева, в высокочастотном бета-диапазоне в женской группе величина выше на 18% ($p < 0,001$), в низкочастотном бета-диапазоне на 14% ($p < 0,001$), в альфа-диапазоне выше на 11% ($p < 0,001$), в тета-диапазоне выше на 5% ($p < 0,001$), в дельта-диапазоне активность мозга выше у мужчин на 6% ($p < 0,001$). В отведении C4 A2, расположенного над центральной премоторной корой справа, в высокочастотном бета-диапазоне значения в женской группе выше на 17% ($p < 0,001$), в низкочастотном бета-диапазоне выше на 8% ($p < 0,001$), в альфа-диапазоне выше на 1% ($p < 0,001$), в тета-диапазоне выше на 7% ($p < 0,001$), в дельта-диапазоне выше на 1% ($p < 0,001$). В отведении O1 A1 фиксируется активность в затылочной области слева. В высокочастотном бета-диапазоне значения в женской группе выше на 13% ($p < 0,001$), в низкочастотном бета-диапазоне выше на 12% ($p < 0,001$), в тета-диапазоне у женщин выше на 5% ($p < 0,001$), в альфа-диапазоне в мужской группе показатель выше на 1% ($p < 0,001$), в дельта-диапазоне выше на 12% ($p < 0,001$).

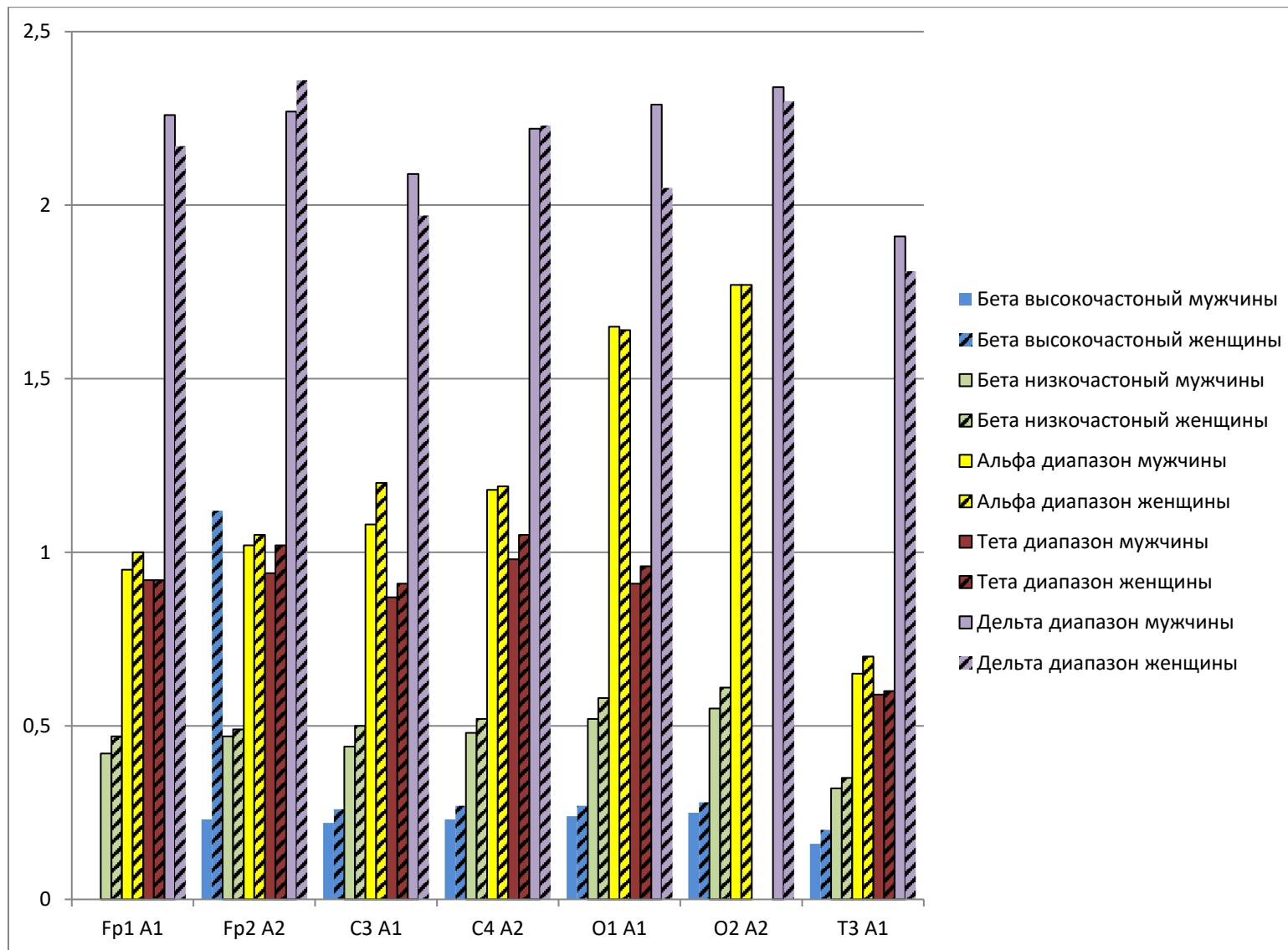


Рисунок 9 – Средние показатели амплитудного спектра в группе испытуемых женского и мужского пола

В отведении O2 A2, в области проекции затылочной доли справа, показатель активности в женской группе в высокочастотном бета-диапазоне выше на 12% ($p < 0,001$), в низкочастотном бета-диапазоне выше на 11% ($p < 0,001$), в альфа-диапазоне показатели равны таковым у мужчин, в тета-диапазоне не поддается сравнению ввиду разности критериев средних величин, в дельта-диапазоне в мужской группе показатель выше на 2%.

В отведении T3 A1, которое характеризует активность в средневисочной области слева, значения высокочастотного бета-диапазона в женской группе выше 25% ($p < 0,001$), в низкочастотном бета-диапазоне выше на 9% ($p < 0,001$), в альфа-диапазоне выше на 8% ($p < 0,001$), в тета-диапазоне выше на 2% ($p < 0,001$), в дельта-диапазоне в мужской группе исследования значения выше на 6% ($p < 0,001$).

В отведении T4 A2, расположенного над средневисочной областью справа, активность коры мозга в высокочастотном бета-диапазоне выше в женской группе на 11% ($p < 0,001$), в низкочастотном бета-диапазоне мужские показатели выше на 326% ($p < 0,001$), в альфа-диапазоне выше на 3% ($p < 0,001$), в тета-диапазоне выше на 435% ($p < 0,001$), в дельта-диапазоне женские характеристики выше на 3% ($p < 0,001$).

При сравнительном анализе амплитудного спектра установлено, что в высокочастотном бета-диапазоне во всех отведениях активность коры в исследуемой группе женского пола выше мужской. В низкочастотном бета-диапазоне наблюдается выраженное преобладание активности у мужчин в средневисочной области справа, в остальных участках коры большая активность сохраняется у женщин. В альфа-диапазоне затылочная область слева и средневисочная область справа у мужчин активнее чем у женщин, в остальных участках преобладает у женщин. В тета-диапазоне в мужской группе выражена активность в средневисочной области справа, в остальных участках у женщин активность более выражена. В дельта-диапазоне у мужчин выражена активность в фронтальной области слева, центральной премоторной области слева, средневисочной области слева и затылочных долях.

При сравнительном анализе спектра мощности (Рисунок 10) установлено

преобладание активности головного мозга на всех его участках в высокочастотном и низкочастотном бета-диапазонах у лиц женского пола над мужским. В альфа-диапазоне у мужчин доминирует активность в правой фронтальной и средневисочной области. В тета-диапазоне во фронтальной области слева, затылочной области справа и обеих средневисочных участках доминирует активность у мужчин, в остальных преобладает у женщин. В дельта-диапазоне по всей коре активность преобладает у мужчин.

4.6. Особенности внутрисистемных корреляционных взаимоотношений электрической активности головного мозга при выполнении произвольного двигательного акта после выполнения заданий суппортметрии у испытуемых женского и мужского пола

Анализ проводился путем сравнения показателей коэффициента корреляции между различными парами отведений и построения корреляционных плеяд с помощью программы «Корреляционные плеяды» (государственная регистрация программы ЭВМ № 2023664998 от 11.07.2023 г. Кононенко Н.С., Ткаченко П.В., Белоусова Н.И.).

При исследовании показателей амплитудного спектра в отведениях Fp1 A1 – T3 A1 установлено, что сила связи в группе испытуемых женщин на 8% ($p < 0,001$) выше, чем в группе испытуемых мужчин, в T3 A1 – O1 A1 связь сильнее 29% ($p < 0,001$). В мужской группе в отведениях C3 A1 – C4 A2 данный показатель выше на 11%, в C3 A1 – O1 A1 выше на 11% ($p < 0,001$), в C4 A2 – T4 A2 выше на 14% ($p < 0,001$), в Fp1 A1 – C4 A2 выше на 14% ($p < 0,001$), в Fp2 A2 – C4 A2 выше на 15% ($p < 0,001$), в Fp1 A1 – O2 A2 выше на 16% ($p < 0,001$), в Fp2 A2 – C3 A1 выше на 23% ($p < 0,001$), в O1 A1 – O2 A2 выше на 23% ($p < 0,001$), в Fp2 A2 – O2 A2 выше на 24% ($p < 0,001$), в Fp2 A2 – O1 A1 выше на 27% ($p < 0,001$), в C3 A1 – O2 A2 выше на 31% ($p < 0,001$), чем в женской.

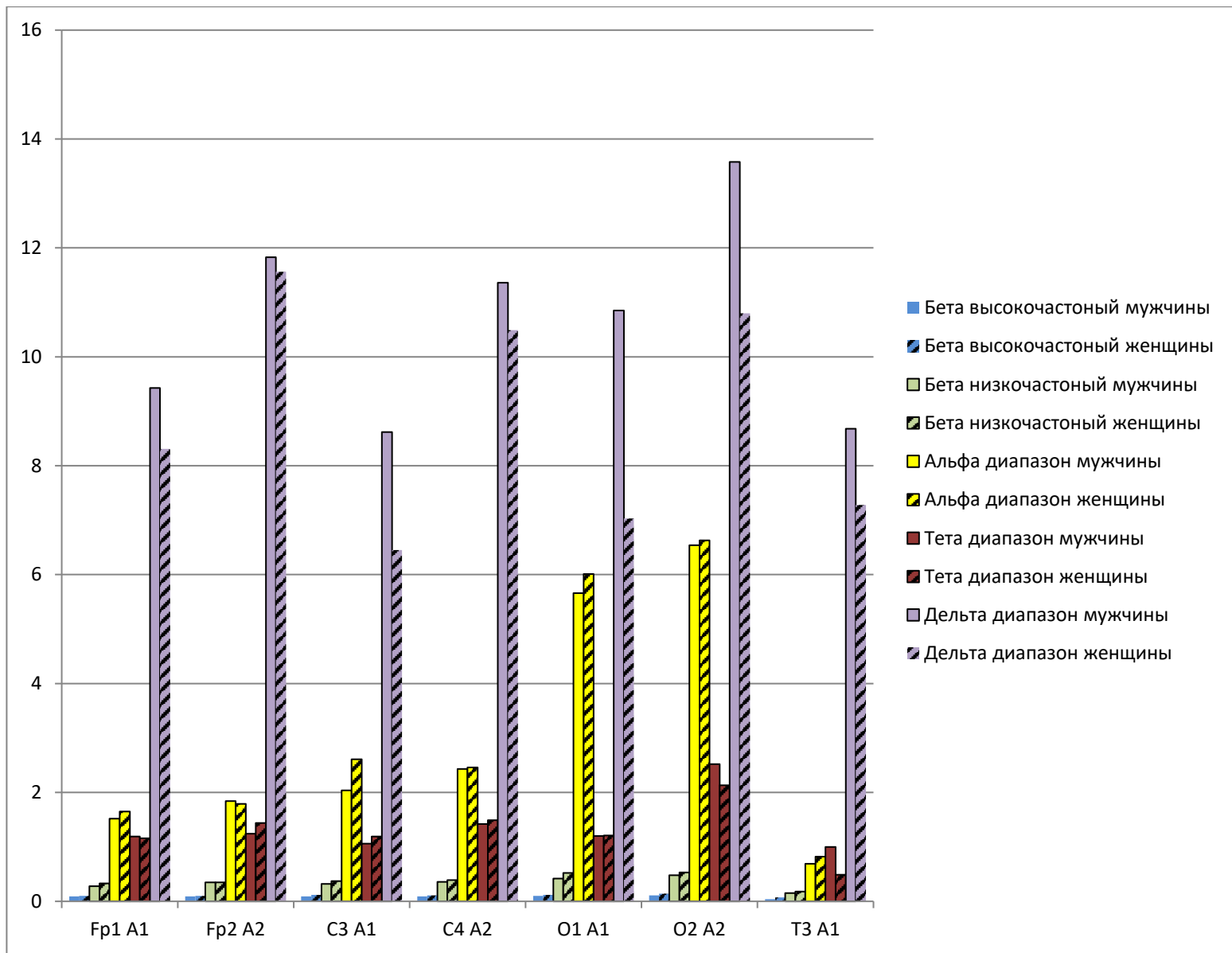


Рисунок 10 – Средние показатели спектра мощности в группе испытуемых женского и мужского пола

В женской группе отмечается наиболее выраженная взаимосвязь между одноименными отделами фронтальной и центральной премоторной коры. Мультиполярным центром является левая лобная доля, так как в высокочастотном бета-диапазоне активности имеет тесные связи со всеми участками коры, за исключением затылочной области справа. Отличительной особенностью от мужской группы, является наличие связи между средневисочной и затылочной областями слева, и отсутствие связи между центральной премоторной и средневисочной корой справа. Карта двигательного акта в данном диапазоне у мужчин выглядит иначе и характеризуется наличием устойчивых связей между фронтальными, центральными премоторными и затылочными областями коры как разных, так и одноименных полюсов. Мультиполярным центром является центральный премоторный участок и характеризуется самым большим количеством наиболее тесных связей с другими отделами коры. Важной особенностью является более активное использование центров правого полушария, так фронтальная и затылочные области справа имеют дополнительные связи с противоположными центрами премоторных участков слева. У мужчин в данном диапазоне наименее выражены одноименные связи средневисочных отделов с затылочными областями мозга (Рисунок 11).

Суммарный коэффициент корреляции высокочастотного бета-диапазона амплитудного спектра в отведении Fp1 A1 у женщин 5,201, а у мужчин 4,785; в Fp2 A2 у женщин 4,758, у мужчин 5,556; в C3 A1 у женщин 5,085, у мужчин 5,389; в C4 A2 у женщин 4,765, у мужчин 5,599; в O1 A1 у женщин 4,808, у мужчин 5,150; в O2 A2 у женщин 4,542, у мужчин 5,350; в T3 A1 у женщин 4,155, у мужчин 4,338; в T4 A2 у женщин 4,674, у мужчин 4,621. Наиболее активным центром по суммарной силе статистически значимых корреляционных связей с другими областями является у женщин левая лобная доля, а у мужчин центральная премоторная кора справа.

долей между собой. Наибольшее сосредоточение статистически значимых связей приходится на правые отделы головного мозга и лобную долю слева, мультиполярным центром, обеспечивающим связи со всеми другими участками, является затылочная доля справа. Наименее взаимосвязанными участками являются затылочные, средневисочные и центральная премоторные поля слева. Коррекция двигательной программы в группе испытуемых женщин в низкочастотном бета-диапазоне характеризуется равномерным распределением связи между отделами головного мозга. Наиболее выраженная связь наблюдается между фронтальными и центральными премоторными отделами одноименной стороны, а также между затылочными областями и центральными премоторными участками между собой. Наименьшая сила связи регистрируется между средневисочными отделами справа и слева с фронтальной и затылочной областью слева.

Суммарный коэффициент корреляции низкочастотного бета-диапазона амплитудного спектра в отведении Fp1 A1 у женщин 5,882, а у мужчин 5,688; в Fp2 A2 у женщин 6,038, у мужчин 5,664; в C3 A1 у женщин 6,027, у мужчин 5,596; в C4 A2 у женщин 6,106, у мужчин 5,872; в O1 A1 у женщин 5,847, у мужчин 5,027; в O2 A2 у женщин 5,998, у мужчин 5,623; в T3 A1 у женщин 5,506, у мужчин 4,766; в T4 A2 у женщин 5,532, у мужчин 5,260.

Наиболее активным центром по суммарной силе статистически значимых корреляционных связей с другими областями является у женщин и у мужчин центральная премоторная область справа. Однако в женской группе показатель выше аналогичных показателей в мужской группе (Рисунок 12).

В альфа-диапазоне амплитудного спектра в группе испытуемых мужчин регистрируется более высокие значения взаимосвязи между показателями в некоторых отведениях, а именно: Fp1 A1 – C4 A2 выше на 1% ($p < 0,001$), в T3 A1 – C3 A1 выше на 5% ($p < 0,001$), в T4 A2 – O2 A2 выше на 7% ($p < 0,001$), в O1 A1 – O2 A2 выше на 8% ($p < 0,001$), в Fp2 A2 – T4 A2 выше на 11% ($p < 0,001$), в T4 A2 – C3 A1 выше на 12% ($p < 0,001$), в Fp1 A1 – T4 A2 выше на 12% ($p < 0,001$), Fp1 A1 – O1 A1 выше на 13% ($p < 0,001$), в Fp2 A2 – O2 A2 выше на 13% ($p < 0,001$), в T4 A2 – C4

A2 выше на 13% ($p < 0,001$), в C4 A2 – O2 A2 выше на 13% ($p < 0,001$), в T4 A2 – O1 A1 выше на 14% ($p < 0,001$). В женской группе более выражены связи в отведениях в C3 A1 – O2 A2 выше на 9% ($p < 0,001$), T3 A1 – O2 A2 выше на 21% ($p < 0,001$). Так женская программа характеризуется последовательной тесной связью левого фронтального отдела с правым фронтальным отделом, правая лобная область с правой центральной премоторной корой, которая в свою очередь взаимосвязана с центральной премоторной корой слева.

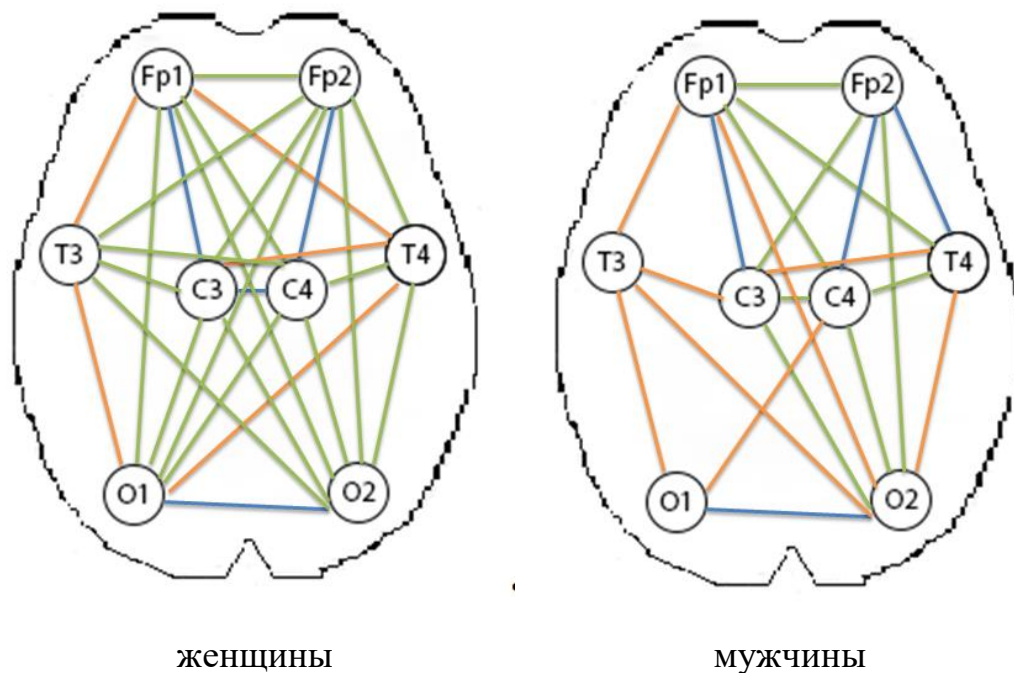


Рисунок 12 – Корреляционные плеяды амплитудного спектра испытуемых женского и мужского пола в низкочастотном бета-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— $\rho > 0,9$; — $\rho > 0,8$; — $\rho > 0,7$

Центром с наименее выраженными связями является затылочная область слева. Отличительной особенностью также является наличие связей средневисочной области слева с правой затылочной областью. В мужской группе исследования характерным является активация и тесная взаимосвязь центров центральных премоторных между собой, а также с одноименными средневисочными областями. Также особенностью является наличие взаимных

отведениях С3 А1 – О2 А2 выше на 6% ($p < 0,001$), Fp1 А1 – О2 А2 выше на 23% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – С3 А1 выше на 27% ($p < 0,001$), в Т3 А1 – С4 А2 выше на 30% ($p < 0,001$), в С3 А1 – С4 А2 выше на 33% ($p < 0,001$), в С4 А2 – О2 А2 выше на 33% ($p < 0,001$), в О1 А1 – О2 А2 выше на 34% ($p < 0,001$). в Fp1 А1 – О1 А1 выше на 35% ($p < 0,001$), в Т3 А1 – Т4 А2 выше на 38% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – Т3 А1 выше на 42% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – О2 А2 выше на 45% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – Fp2 А2 выше на 47% ($p < 0,001$), в Т3 А1 – О2 А2 выше на 50% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – Т3 А1 выше на 69% ($p < 0,001$), в Т3 А1 – О1 А1 выше на 87% ($p < 0,001$). В женской в отличие от мужской группе имеются связи в отведениях Fp1 А1 – С4 А2 выше на 3% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – С3 А1 выше 7% ($p < 0,001$), в С3 А1 – О1 А1 выше на 13% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – С4 А2 выше на 17% ($p < 0,001$), в С4 А2 – Т4 А2 выше на 27% ($p < 0,001$). Женская моторная программа характеризуется тесной связью между правыми фронтальным и центральным премоторным отделами, а также наличием связей между центральными премоторными областями с лобными долями и затылочной областью слева. Затылочная область справа остается полностью исключена из всех взаимодействий. В мужской программе наблюдается большее количество взаимосвязей (Рисунок 14).

Между лобными долями существует самая сильная связь. Обе лобные доли тесно взаимодействуют со средневисочной областью слева, которая в свою очередь имеет связь центральной премоторной областью слева, которая соединен с аналогичной областью справа. Правая центральная премоторная кора взаимосвязана с правой затылочной долей, которая в свою очередь имеет взаимосвязь с левой затылочной областью. Мультиполярным центром является средневисочная левая доля, средневисочная доля справа имеет наименьшее количество взаимосвязей.

Суммарный коэффициент корреляции тета-диапазона амплитудного спектра в отведении Fp1 А1 у женщин 4,339, а у мужчин 5,296; в Fp2 А2 у женщин 4,294, у мужчин 5,310; в С3 А1 у женщин 4,594, у мужчин 5,168; в С4 А2 у женщин 4,789, у мужчин 5,175; в О1 А1 у женщин 3,916, у мужчин 4,803; в О2 А2 у женщин 4,228, у мужчин 5,160; в Т3 А1 у женщин 3,830, у мужчин 5,506; в Т4 А2 у женщин 4,074,

у мужчин 4,260.

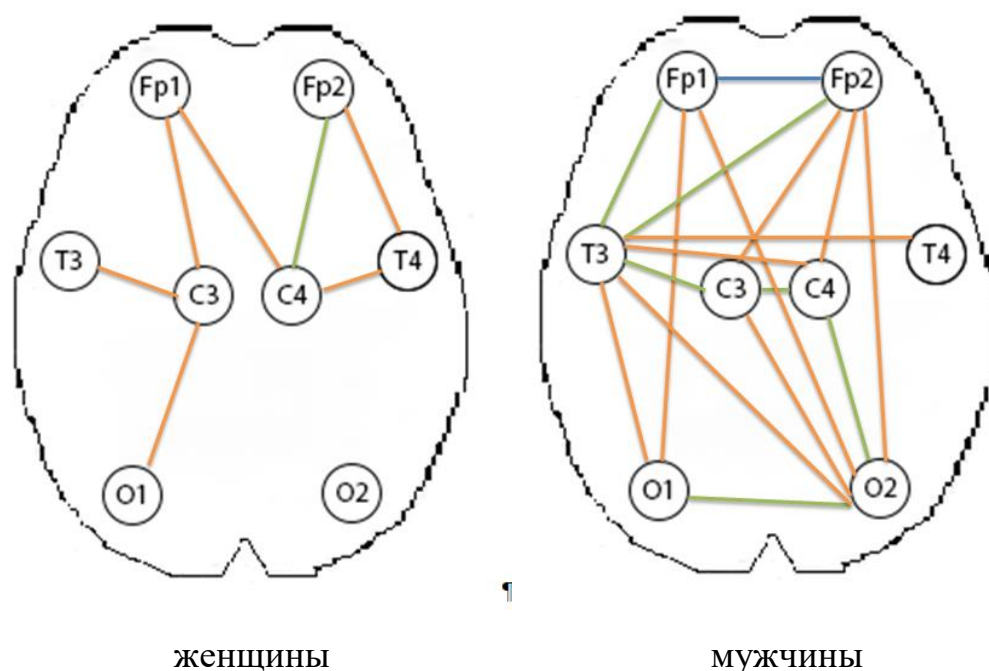


Рисунок 14 – Корреляционные плеяды амплитудного спектра испытуемых женского и мужского пола в тета-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— > 0,9; — > 0,8; — > 0,7

Наиболее активным центром по суммарной силе статистически значимых корреляционных связей с другими областями является у женщин правая премоторная кора, а у мужчин левая височная область.

В дельта-диапазоне (Рисунки 15, 16) амплитудного спектра в мужской и женской группах исследования наблюдается некоторые отличия, а именно: в женской группе наличие связи в отведениях Т3 А1 – О2 А2 и С3 А1 – Т4 А2. Сила связи в мужской группе в отведениях Fp2 А2 – Т4 А2 выше на 30% ($p < 0,001$), в С4 А2 – Т4 А2 выше на 33% ($p < 0,001$), в Т4 А2 – О1 А1 выше на 54% ($p < 0,001$). Сильнее у женщин в Fp2 А2 – С4 А2 выше на 4% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – О1 А1 выше на 4% ($p < 0,001$).

Суммарный коэффициент корреляции дельта-диапазона амплитудного спектра в отведении Fp1 А1 у женщин 1,480, а у мужчин 1,686; в Fp2 А2 у женщин 2,460, у мужчин 2,585; в С3 А1 у женщин 1,615, у мужчин 2,358; в С4 А2 у женщин

2,480, у мужчин 2,665; в O1 A1 у женщин 2,377, у мужчин 2,635; в O2 A2 у женщин 1,028, у мужчин 1,642; в T3 A1 у женщин 1,007, у мужчин 1,511; в T4 A2 у женщин 1,775, у мужчин 2,858. Наиболее активным центром по суммарной силе статистически значимых корреляционных связей с другими областями является у женщин и мужчин премоторная область справа. Однако показатель вы мужской группе выше, чем в женской.

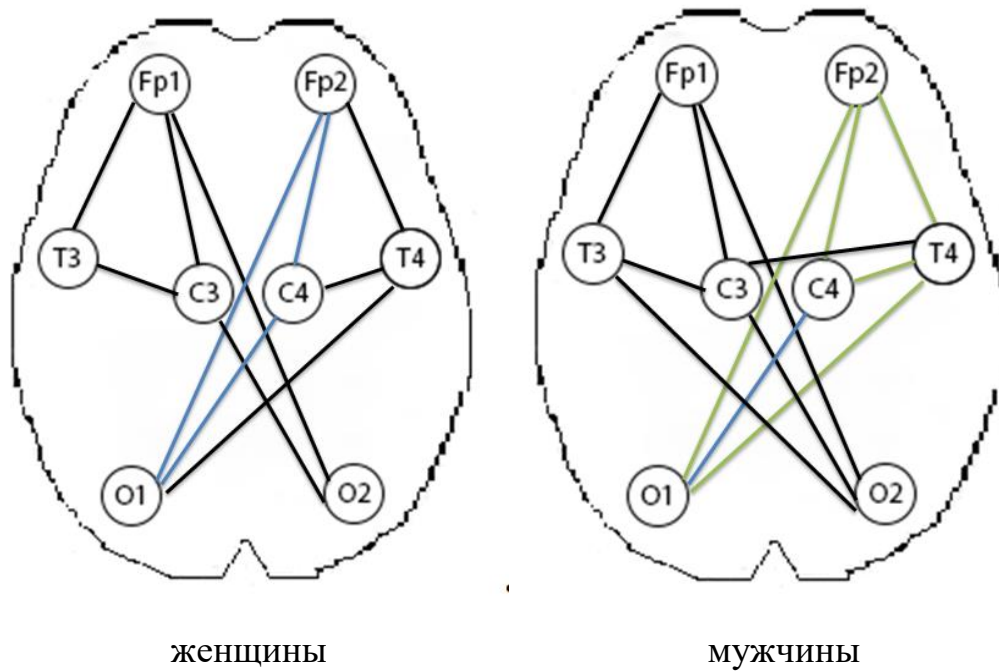


Рисунок 15 – Корреляционные плеяды амплитудного спектра испытуемых женского и мужского пола в дельта-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— $> 0,9$; — $> 0,8$; — $> 0,7$; — $< 0,7$

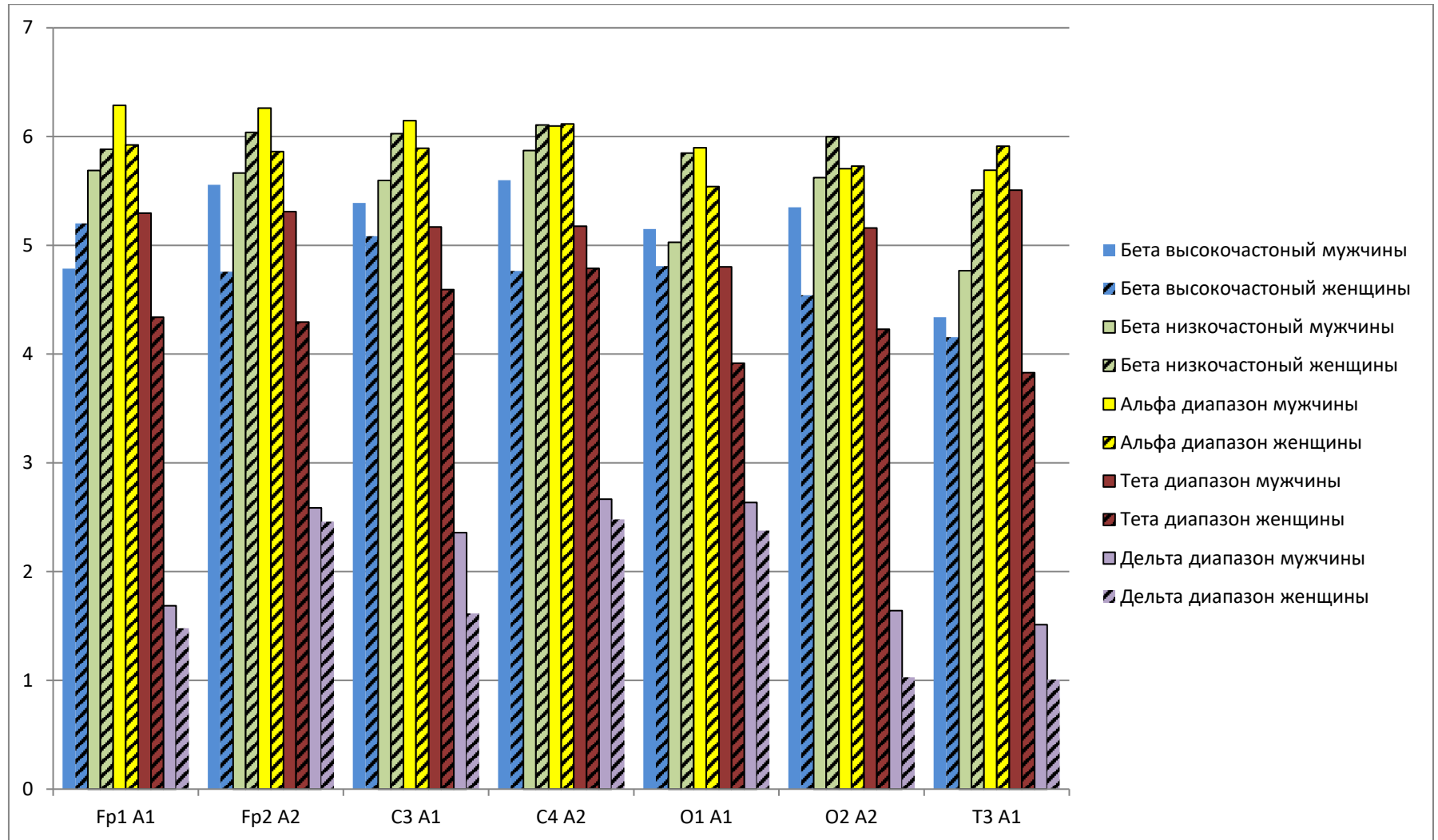


Рисунок 16 – Суммарный коэффициент корреляции амплитудного спектра в группе испытуемых женского и мужского пола в различных частотных диапазонах

При анализе спектра мощности в высокочастотном бета-диапазоне (Рисунок 17) установлено, что мужской группе исследуемых в отведениях С4 А2 – Т4 А2 связь выше на 3% ($p < 0,001$), в С3 А1 – С4 А2 выше на 5% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – О1 А1 выше на 5% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – Fp2 А2 выше на 10% ($p < 0,001$), в С3 А1 – О1 А1 выше на 10% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – С4 А2 выше на 12% ($p < 0,001$), в С3 А1 – О2 А2 выше на 15% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – С3 А1 выше на 17% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – С4 А2 выше на 18% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – О2 А2 выше на 25% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – О1 А1 выше на 26% ($p < 0,001$), в О1 А1 – О2 А2 выше на 32% ($p < 0,001$). в Fp1 А1 – О2 А2 выше на 38% ($p < 0,001$). В женской группе исследования связи сильнее в отведениях Fp1 А1 – Т4 А2 на 19% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – Т3 А1 выше на 16% ($p < 0,001$). У женщин самые тесные связи выявлены между фронтальной долей слева и центральными премоторными участками слева и права. Полностью отсутствуют связи с затылочной долей справа. Мультиполярным центром является левая лобная доля. У мужчин самая прочная связь выявлена между правой лобной долей и центральной премоторной областью справа. Наименее связанным участком является средневисочная область слева. Остальные центры имеют одинаковое количество взаимосвязанных участков.

Суммарный коэффициент корреляции высокочастотного бета-диапазона спектра мощности в отведении Fp1 А1 у женщин 5,246, а у мужчин 4,774; в Fp2 А2 у женщин 4,809, у мужчин 5,515; в С3 А1 у женщин 5,082, у мужчин 5,283; в С4 А2 у женщин 4,815, у мужчин 5,565; в О1 А1 у женщин 4,884, у мужчин 5,229; в О2 А2 у женщин 4,076, у мужчин 5,067; в Т3 А1 у женщин 4,271, у мужчин 4,238; в Т4 А2 у женщин 4,843, у мужчин 4,433. Наиболее активным центром по суммарной силе статистически значимых корреляционных связей с другими областями является у женщин левая лобная доля, у мужчин премоторная кора справа.

В низкочастотном бета-диапазоне спектра мощности у женщин наблюдается мультиполярное взаимодействие всех центров между собой. Отличительной особенностью у женщин является наличие и сила связи в отведениях Т3 А1 – О1 А1 выше на 3% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – О2 А2 выше на 8% ($p < 0,001$), в Fp2 А2 – О1 А1 выше на 9% ($p < 0,001$), в Т3 А1 – С3 А1 выше на 11% ($p < 0,001$), в Fp1 А1 – Т3

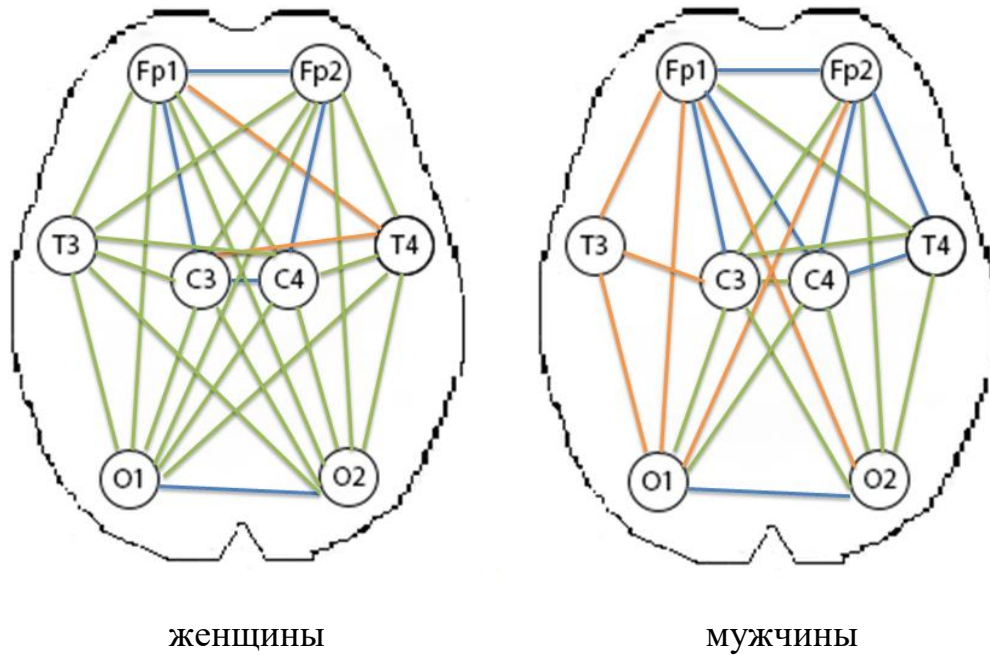


Рисунок 18 – Корреляционные плеяды спектра мощности испытуемых женского и мужского пола в низкочастотном бета-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— > 0,9; — > 0,8; — > 0,7

У мужчин центры активности при коррекции программ двигательного акта преимущественно расположены в правых передних отделах мозга и активно задействуют правую и левую лобную кору, правую и левую центральную премоторную кору, а также средневисочной отдел. Также выражена связь между затылочными отделами. Наименьшее количество связей имеет левый средневисочной отдел, остальные центры имеют одинаковое количество взаимосвязей. Женский мозга характеризуется взаимосвязями фронтальной и лобной коры с одноименной стороны, а также лобных и центральных премоторных, затылочных участков между собой. Все центры имеют одинаковое количество взаимосвязей между собой, однако между средневисочной областью справа и фронтальными и премоторным участком слева силы связи значительно меньше.

Анализ показателей в альфа-диапазоне спектра мощности (Рисунок 19) показал, что в группе исследуемых мужчин количество и теснота связей значительно выше, а именно: в отведениях C3 A1 – T3 A1 выше на 4% ($p < 0,001$), в Fp2 A2 – T4 A2 выше на 5% ($p < 0,001$), в Fp1 A1 – C4 A2 выше на 9% ($p < 0,001$), в

является сильная взаимосвязь средневисочных областей слева и справа. Затылочные области имеют связи с другими центрами, но значительно уступают по силе связи. Все центры являются мультиполярными.

Суммарный коэффициент корреляции альфа-диапазона спектра мощности в отведении Fp1 A1 у женщин 5,781, а у мужчин 6,247; в Fp2 A2 у женщин 5,845, у мужчин 6,080; в C3 A1 у женщин 5,736, у мужчин 6,005; в C4 A2 у женщин 5,673, у мужчин 6,180; в O1 A1 у женщин 5,485, у мужчин 6,019; в O2 A2 у женщин 5,091, у мужчин 5,844; в T3 A1 у женщин 5,767, у мужчин 5,615; в T4 A2 у женщин 5,574, у мужчин 5,710. Наиболее активным центром по суммарной силе статистически значимых корреляционных связей с другими областями является у женщин лобная доля справа, у мужчин лобная доля слева.

В тета-диапазоне спектра мощности (Рисунок 20) у лиц женского пола установлено все несколько взаимосвязей, самой сильной из них является между отведениями Fp2 A2 – C4 A2 и она сильнее на 29% чем в мужской группе. Полностью изолированы остались средневисочные области слева и справа и затылочная доля справа. В мужской группе тесные взаимосвязи установлены в отведениях C3 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – Fp2 A2 и O1 A1 – O2 A2. Участок с наименьшим количеством связей является средневисочная доля справа. Мультиполярными центрами являются затылочная и лобная доля справа.

Суммарный коэффициент корреляции тета-диапазона спектра мощности в отведении Fp1 A1 у женщин 4,241, а у мужчин 5,089; в Fp2 A2 у женщин 4,245, у мужчин 5,157; в C3 A1 у женщин 3,973, у мужчин 5,135; в C4 A2 у женщин 4,639, у мужчин 4,758; в O1 A1 у женщин 3,849, у мужчин 4,815; в O2 A2 у женщин 3,888, у мужчин 4,990; в T3 A1 у женщин 3,250, у мужчин 4,989; в T4 A2 у женщин 2,453, у мужчин 4,347. Наиболее активным центром по суммарной силе статистически значимых корреляционных связей с другими областями является у женщин в премоторной области справа, у мужчин в лобной доле справа.

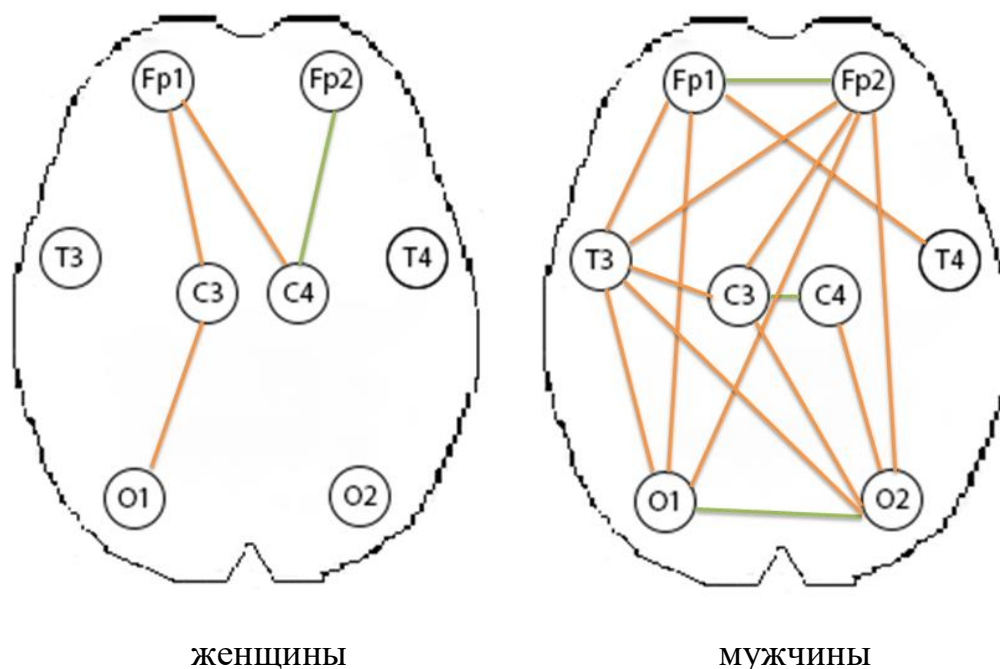


Рисунок 20 – Корреляционные плеяды спектра мощности испытуемых женского и мужского пола в тета-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— - > 0,9;
 — - > 0,8;
 — - > 0,7

В дельта-диапазоне спектра мощности (Рисунок 21, 22) у лиц мужского пола наблюдается отсутствие взаимосвязей левого и правого полушария. При этом в правых отделах мозга теснота связей выше. У женщин связь между правыми и левыми отделами обеспечивает взаимодействие левой фронтальной коры слева и центральной премоторной коры справа. При этом сила связи в отведениях Fp2 A2 – C4 A2 выше на 15% ($p < 0,001$), в T4 A2 – O2 A2 выше на 17% ($p < 0,001$), в Fp1 A1 – C3 A1 выше у мужчин на 34% ($p < 0,001$), в Fp2 A2 – T4 A2 выше на 34% ($p < 0,001$). В C4 A2 – O2 A2 у женщин выше на 14% ($p < 0,001$).

Суммарный коэффициент корреляции дельта-диапазона спектра мощности в отведении Fp1 A1 у женщин 1,487, а у мужчин 1,500; в Fp2 A2 у женщин 2,200, у мужчин 2,513; в C3 A1 у женщин 1,680, у мужчин 1,919; в C4 A2 у женщин 2,709, у мужчин 2,425; в O1 A1 у женщин 0,485, у мужчин 0,498; в O2 A2 у женщин 2,414, у мужчин 1,597; в T3 A1 у женщин 1,042, у мужчин 2,838; в T4 A2 у женщин 2,023, у мужчин 1,693. Наиболее активным центром по суммарной силе статистически значимых корреляционных связей с другими областями является у женщин

премоторная кора справа, у мужчин правая лобная доля.

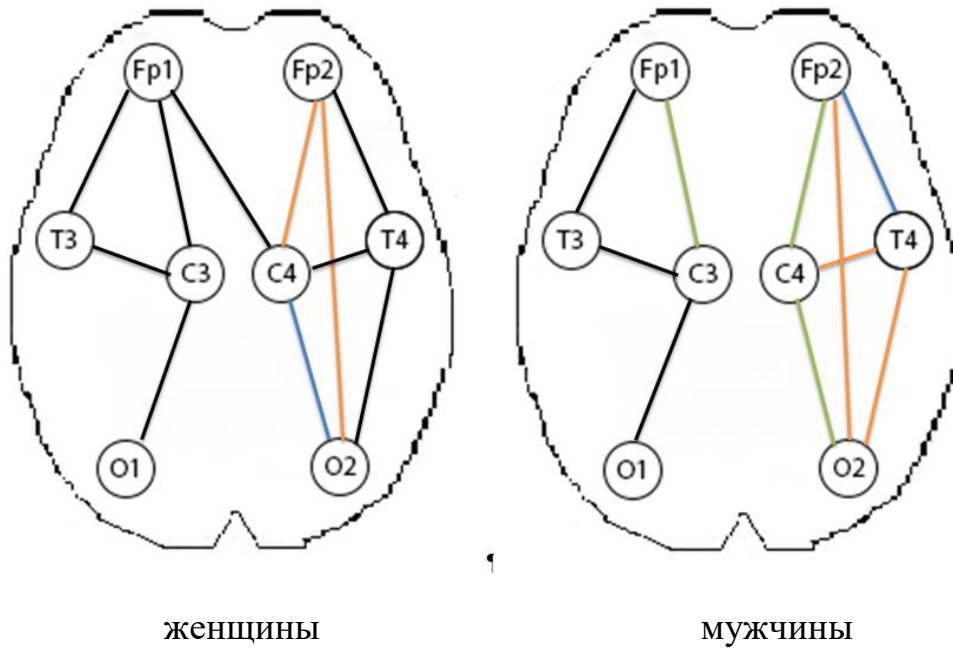


Рисунок 21 – Корреляционные плеяды спектра мощности испытуемых женского и мужского пола в дельта-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— $> 0,9$; — $> 0,8$; — $> 0,7$; — $< 0,7$

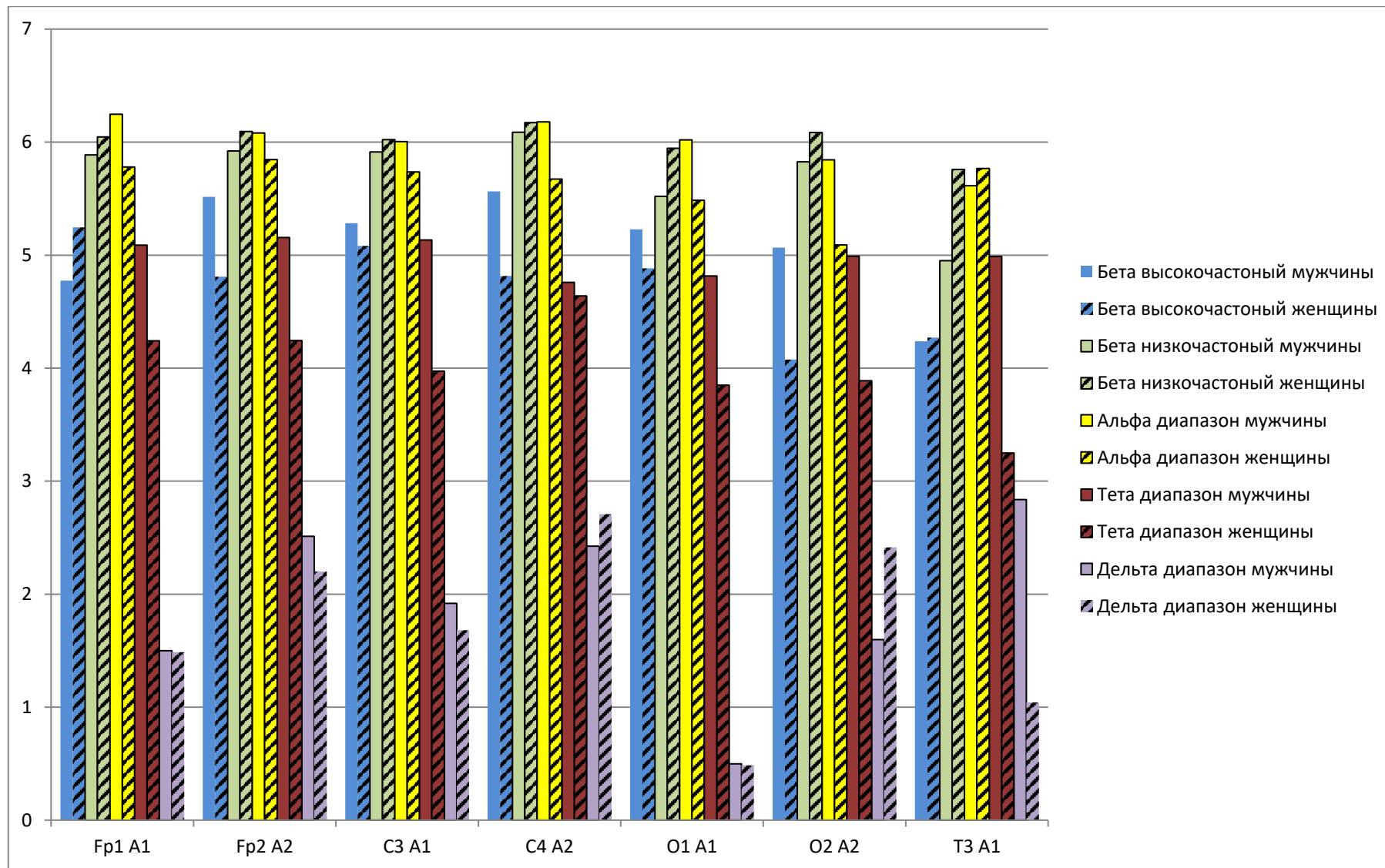


Рисунок 22 – Суммарный коэффициент корреляции спектра мощности в группе испытуемых женского и мужского пола в различных частотных диапазонах

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Бимануальная координация произвольной двигательной активности человека является индикатором функционального состояния центральной нервной системы и отражает совокупность взаимосвязей различных отделов коры больших полушарий, подкорковых структур, выполняющих моторные функции и состояние эффекторного аппарата. Используемый в исследовании метод суппортметрии позволяет определить уровень скоординированности движений при бимануальной работе, показатели которого являются сопоставимыми и отражают процессы реализации локомоторных функций на всех ее этапах.

В ходе проведения эксперимента, было установлено, что одинаковые стимулы в виде заданий суппортметрии имеют различные эффекторные проявления в сравниваемых группах по гендерному признаку. Так прохождение четвертого трека для мужчин представляется наиболее сложным и характеризуется самым высоким показателем общего времени выполнения задания, максимальными количеством ошибок и наименьшим интегральным показателем. Следует отметить, что в мужской группе исследования вариативность интегрального показателя координации имеет незначительные отличия минимального (при выполнении четвертого задания) от максимального (при выполнении первого задания) значения и составляет 21%. В то время как у женщин особые затруднения вызывает выполнение второго задания, а отличия интегрального показателя координации минимального (при выполнении второго задания) от максимального (при выполнении первого задания) достигает 133%. Данный факт может свидетельствовать о различных механизмах перестройки процесса координации при реализации движений от менее легких к более сложным на всех функциональных уровнях, включая высшие корковые центры, а также высокую фоновую активность моторных центров у мужчин, позволяющую быстрее реагировать на изменения афферентной импульсации.

При выполнении всех заданий суппортметрии мужчин имеют более высокие показатели скоординированности при выполнении произвольной активности, что

может говорить о более высоком уровне организации двигательного акта на всех ее уровнях [105, 114].

При одинаковой скорости прохождения трека наблюдаются различные показатели общего времени выполнения задания преимущественно за счет времени нахождения вне контура и количества ошибок. В женской группе эти показатели выше аналогичных в мужской, в среднем на 240% и 213% соответственно. Полученные результаты говорят о различных стратегиях выполнения двигательного акта [10, 18, 96]. Так для мужчин характерен пластичный тип реагирования благодаря выраженной работе звена обратной афферентации и выработке точных коррекционных программ высшими корковыми отделами, в то время как для женщин детерминирована жесткость выполнения изначально выработанной программы локомоции и ориентирована на исправление ошибки, а не ее предотвращение. Это может быть обусловлено неустойчивыми связями высших моторных центров и главных областей сенсорного восприятия, в частности зрительного, а также менее эффективной работой периферического звена обратной связи. Выявленные характеристики подтверждают результаты экспериментов П.В. Ткаченко и говорят о половых особенностях сенсорно-моторной сферы у человека [108, 114].

Время нахождения на контуре задания является показателем характеризующем четкое выполнение выработанной программы произвольного целенаправленного движения. Корреляционный анализ данного параметра при прохождении треков выявил статистически значимые прямые связи. Так, последовательные отношения между первым-вторым, вторым-третьим и третьим-четвертым треками говорят об выработке, инициации и реализации с последующей коррекцией двигательной программы бимануального движения. Установлено, что у мужчин наблюдаются цикличные связи между заданиями и ключевое значение имеет первый трек, при прохождении которого формируется энграмма движения, происходит преднастройка всех отделов двигательного акта, повышается фоновая активность всех структур, обеспечивая точность движения. В ходе выполнения происходит незначительная коррекция локомоции на высшем уровне необходимая

для дальнейшей скоординированной работы и высокого результата по ее окончании.

В женской группе исследования наблюдается иная картина, которая характеризуется планомерным ростом показателя от задания к заданию. Соответственно каждое последующее прохождение трека вносит корректировки в изначально выработанную программу движения, способствующие адаптации и сонастройки различных систем, что в итоге приводит к совершенствованию бимануальной скоординированности при выполнении двигательного акта.

При исследовании данных показателей в группе испытуемых женского и мужского полов было установлено, что уровень координации у мужчин выше и зависит от преднастройки реализации моторного акта, в то время как у женщин ключевым является выработка и реализация коррекционных программ. Очевидно, что реализация бимануальных координаций в рассматриваемых группах свидетельствует о различной организации и стратегиях выполнения двигательного акта.

Кроме того, в экспериментах П.В. Ткаченко и соавторов было доказано влияние накопленного индивидуального опыта (игра на музыкальных инструментах, профессиональные двигательные навыки) на уровень бимануальной двигательной координации, что согласуется с имеющимися в физиологии данными о формировании программ движения, алгоритма двигательного комплекса, так называемой «мелодии движения» [39, 74, 145, 191].

Координационная деятельность позволяет осуществить движение с максимальной экономией времени и сил. Данный процесс функционирует по классической теории функциональных систем, где пусковым элементом является процесс обратной афферентации, а центральное место занимает выработка коррекционных программ двигательного акта высшими моторными центрами и их функциональные взаимосвязи.

Нами была предпринята попытка изучить внутрисистемное взаимодействие корковых представительств при реализации бимануальной сложноскоординированной работы на основании изучения биоэлектрической

мозговой активности посредством электроэнцефалографии. Данная методика является универсальной, общепринятой и обладает высокой степенью достоверности исследуемых характеристик.

Аналізу подвергались амплитудные и мощностные характеристики ритмов ЭЭГ в различных частотных диапазонах. Бета-ритм связан с соматическими, сенсорными и двигательными корковыми механизмами и дает реакцию на двигательную и тактильную стимуляцию. При выполнении или даже умственном представлении движения наблюдается депрессия или полное исчезновение данного ритма в соответствующей корковой проекции [44, 45].

Разделение бета-ритма на высокочастотный (20–30 Гц) и низкочастотный (13–20 Гц) носит функциональный характер и позволяет дифференцировать бета-активность в различных областях коры больших полушарий. Так, проявления в низком диапазоне частот в области роландической борозды носят сенсомоторный характер и являются индикаторами двигательной активности, в то время как бета-активность фронтальных отделов говорит о когнитивной деятельности и регистрируется в высоких частотах [44].

При анализе бета-активности в высокочастотном диапазоне при бимануальном сложнскоординированном движении в виде выполнения четырех заданий суппортметрии у женщин установлена наивысшая активность в правой лобной доле, что говорит об активации ассоциативной фронтальной коры, включению в процесс когнитивной деятельности для анализа афферентной импульсации и выбора наилучшей стратегии выполнения движения. Данный отдел имеет высокой тесноты прямые корреляционные связи с центральной премоторной корой справа, височной долей справа и левой фронтальной областью. При этом контралатеральная лобная доля является мультиполярным центром и имеет максимальное количество высокой тесноты корреляционных связей с другими отделами коры больших полушарий, а также обладает наибольшим показателем статистически значимых связей по суммарному коэффициенту корреляции [3, 12, 60, 28].

Опираясь на данные литературы, что пусковым фактором выработки

координационных программа является обратная афферентация от органов чувств, в нашем исследовании ведущую роль играет зрительный анализатор с корковым представительство в затылочных областях, можно прийти к выводу, что первым звеном в инициации коррекционной программы движения является затылочные доли, которые сообщаются между собой. Затем за счет прямой двухсторонней связи информация поступает от левой затылочной к левой лобной доли, где находится второе звено цепи, которое за счет большого количества связей выполняет сбор информации и формирование первичной коррекционной программы. Отсюда данные передаются в первичную моторную кору обоих полушарий, однако связь с левым отделом наиболее выражена и запускается первичный процесс коррекции локомоции обеих рук. Однако пачка импульсов от центров левой лобной доли передается на правую лобную долю, где зафиксирована максимальная активность центров ассоциативной коры. Здесь происходит выработка вторичной коррекционной программы, которая является более точной и передается в правую премоторную область, центры которой руководят эффекторами ведущий руки [39, 52, 64, 123].

Таким образом, при формировании коррекционной программы двигательного акта у женщин в высокочастотном бета-диапазоне можно предположить наличие центров в левой лобной доли, которые отвечают за формирование первичной коррекционной программы движения и выполняют роль коммутатора формирования более точной, вторичной коррекционной программы ведущей руки.

У мужчин максимальная активность регистрируется в затылочной области справа. Здесь происходит восприятие зрительной информации, а также ее переработка. Кроме того, высокую активность данного отдела и сильную взаимосвязь затылочных долей между собой, может обуславливать извлечение из памяти и сравнение текущего состояние акцептора с существующими программами коррекции, которые хранятся в ассоциативной коре теменно-затылочной области. При нахождении похожих программ информация направляется в премоторную область для их реализации, а также в правую лобную

долю для их финальной коррекции. Отсюда пачки импульсов в виде дубликатов программ отправляются в премоторную кору справа для выполнения эффекторами ведущей руки и левую фронтальную область, где также осуществляется коррекция программы третичными моторными полями. Высокий уровень бимануальной координации у мужчин обусловлен более выраженными межполушарными связями, одинаковой работой третичных моторных полей ассоциативной лобной коры и более выраженным процессом извлечения из памяти имеющихся программ [73, 88].

Активность мозга в низкочастотном бета-диапазоне у женщин характеризуется повсеместной активацией центров на всей поверхности коры больших полушарий. Наибольшие значения зарегистрировано в правой затылочной доле – месте получения сенсорной зрительной информации и ее обработки. Данная область имеет высокой тесноты корреляционные связи с противоположным участком затылочной коры, что объясняет ведущую роль зрительного анализатора в обеспечении сенсорной информации и его высокую активность во время выполнения движения. От затылочной области информация направляется в ипси- и контралатеральные участки фронтальной ассоциативной коры и премоторные центры, в которых происходит выработка первичной и вторичной коррекционных программ. По-видимому, в затылочной ассоциативной коре извлекается из памяти похожая энграмма движения и напрямую посылаются в премоторные участки. Копия данной программы также отправляется в лобные доли, при чем имеет одинаковые связи как с правыми, так и с левыми отделами коры, в которой происходит синтез информации и формирование окончательной коррекционной программы. От центров лобной ассоциативной коры команды поступают в ипсилатеральные участки премоторной коры и обеспечивают работу одноименных рук. Также в процесс вовлекаются височные доли, которые выполняют интегративные функции синтеза и анализа полученной информации от всех органов чувств, придающее эмоциональную окраску и позволяющие реинтегрировать и записать в долговременную память сформированную программу. Кроме того, в данных областях расположены вестибулярные центры,

которые обеспечивают пространственную ориентацию. Мультиполярным центром является премоторная область справа, которая объединяет в себе множество связей других корковых центров и обеспечивает максимальную координации ведущей руки.

У мужчин наблюдается другая картина. Иницируется координационная программа в затылочных областях, которые имеют сильную взаимосвязь между собой. Ведущее значение принимает правая затылочная доля, так как именно она коррелирует с обеими частями премоторной коры и правой фронтальной областью. Информация от центров ассоциативной фронтальной коры справа отправляется в левые ее отделы, а также в правую темпоральную часть. В области проекции электродов над средней височной областью располагаются вестибулярные центры, которые отвечают за пространственную ориентацию. Высокой тесноты прямая двухсторонняя корреляционная связь между этими центрами и правой фронтальной ассоциативной корой говорит о важной роли данных структур в формировании вторичной коррекционной программы. Кроме того, здесь регистрируется наивысшая корковая активность в низкочастотном бета-диапазоне, что позволяет определить правой средневисочной области ведущую роль в организации пространственной координации в реализации сложных бимануальных движений, что может служить объяснением более точной работой рук у мужчин. Мультиполярным центром является центральная премоторная кора справа, которая принимает большое количество связей от различных центров и обеспечивает выполнение движение.

Альфа-ритм отражает единый агрегированный ресурс генерации электрической активности мозга и является информативным предиктором эффективности когнитивной и психомоторной деятельности, а его вариабельность отражает изменения в кортикоталамических взаимодействиях [70]. В настоящее время представлены убедительные доказательства, что альфа-частота определяет такие индивидуально-типологические свойства личности, как стратегия обучения и семантическая память [14, 15, 134, 146, 165].

Также альфа-ритм называют ритмом «холостого хода», так как он

регистрируется у 85–95% людей в различных состояниях. Он отражает таламокортикальные связи в виду того, что его генерация происходит в таламусе и при повышении уровня функциональной активности мозга (напряженное внимание, интенсивная психическая работа и др.) наблюдается его депрессия [44, 45].

В женской группе исследования регистрация данного ритма происходит повсеместно, наибольшие значения зарегистрированы в затылочной доле справа, наименьшие в височной доле слева. Депрессия ритма в левой темпоральной области говорит о процессах функциональной активности вестибулярного, слухового и центров пространственной памяти. Наивысшие связи зарегистрированы между фронтальными отделами ассоциативной коры, правой лобной долей и правой премоторной областью, а также премоторными центрами между собой. Для данного ритма характерно наличие связи височных областей между собой, а также с центральными премоторными участками и фронтальной корой.

У мужчин биоэлектрическая активность мозга в альфа-диапазоне имеет более выраженные проявления, а наличие тесных связей между отделами обеспечивает наивысшую функциональную работу. Абсолютный максимум зарегистрирован в правой затылочной доле. Депрессия ритма в левой височной доли говорит об ее активации и включении центров в процесс координационной деятельности. Фронтальная кора обладает наибольшим количеством связей по суммарному коэффициенту корреляции и играет роль центрального предиктора координационной деятельности. Альфа-активность у мужчин характеризуется высокой тесноты прямыми связями между фронтальными отделами коры больших полушарий и правой премоторной и височной областями. Также в этот процесс вовлечены последовательным включением премоторная область слева и левая темпоральная область.

Учитывая таламическое происхождение альфа-активности [51] и восходящие активирующие и тормозящие системы неспецифических ядер таламуса и среднего и переднего мозга [44], опираясь на сочетанное увеличение активности в центрах

кору больших полушарий можно предположить существование неких специфических ядер, в таламусе которые будут последовательно в определённом порядке активировать фронтальную ассоциативную кору, премоторную область и в отдельных случаях височную области. Кроме того, эти центры обладают диффузными двусторонними связями, которые обеспечивают высшую степень функционирования и координационной деятельности.

Тета-ритм имеет частоту от 4 до 8 Гц и по механизму возникновения имеет двойственную природу. Регистрируемая активность в коре больших полушарий может являться результатом физического или электротонического распространения на кору активности гиппокампа, а в других представлять собой низкочастотные колебания альфа-диапазона [65, 66]. Существуют гипотезы, согласно которым гиппокампальные тета-колебания вовлечены в кодирование следов памяти и извлечение из памяти [44]. Показано, что более значительные связи в тета-диапазоне свидетельствует о более высоком напряжении у испытуемых, плохо распознающих эмоции [73, 89, 90]. Имеются данные о том, что у лиц, наименее стабильно работающих в условиях монотонии, наблюдается повышенное содержание тета-ритма в ЭЭГ покоя, что свидетельствует о недостаточно исходной высокой активации мозга [50].

В женской группе исследования максимальная активность в тета-диапазоне, а также наибольший коэффициент суммарной корреляции наблюдается в правой премоторной области. Наблюдаются статистически значимые корреляционные связи от всех одноименных областей мозга с ипсилатеральными участками премоторной коры, за исключением правой затылочной доли, связи с которой полностью отсутствуют. Данный факт свидетельствует о высокой степени активации этого участка. Единственной связью, обеспечивающей сочетанную работу правого и левого полушария, является связь между левой фронтальной областью и правой премоторной корой. Исходя из вышесказанного можно предположить, что данный ритм, инициируемый из гиппокампальной области, имеет сложную межполушарную асимметрию и обуславливает частичную изоляцию центров правой и левой половины мозга [93, 96, 118, 141, 164].

У мужчин складывается противоположная картина и наблюдается обилие связей между центрами без их детерминации. Максимальная активность регистрируется в правой височной области, которая имеет лишь одну связь с левым темпоральным участком, который в свою очередь обладает наименьшей активностью и наибольшим количеством корреляционных связей. Низкая активность говорит о высокой степени активации данного участка и включении его в процесс координационной деятельности. Последовательные связи от левой затылочной доли к правой затылочной, затем к правой премоторной, от нее к левой премоторной, а затем в левую темпоральную область, а также между фронтальными участками и левой височной областью [142].

Дельта-активность характеризуется частотой колебаний от 0,5 Гц до 4 Гц и высокой амплитудой до 200 мкВ [44]. В своей основе дельта-ритм имеет таламокортикальную природу, характеризуется наличием специфических ядер в таламусе, которые имеют зеркальные нейроны в коре больших полушарий и объединены вертикальными связями. Возникает при их глубокой гиперполяризации [45]. Данный ритм ввиду своего происхождения обуславливает процессы торможения в ЦНС и за счет обширных таламо-кортико-гиппокампальных связей обеспечивают консолидацию памяти [58, 14]. Следует отметить, те же таламокортикальные цепи вовлечены в процесс генерации эпизодической альфа-активности [157]. Помимо перечисленных функциональных особенностей дельта-ритма, специфическая медленная активность, согласно Тубенгенской теории [143], может быть связана с когнитивной деятельностью и служить индикатором подготовительных операций, называемым «условным отрицательным отклонением» [169, 129].

При анализе активности мозга в дельта-диапазоне у женщин при сложнокоординированном бимануальном движении было установлено, что центром с наивысшей медленной активностью является область правой фронтальной коры, что соответствует третичным моторным полям. Наивысшие прямые корреляционные связи выявлены между правой фронтальной корой и затылочной корой контралатерального полушария, а также областью премоторной

коры справа, тем самым образуя треугольник дельта-активности. В мужской группе исследования в данный треугольник включается правая височная область, при этом образуя трехсторонние связи между центрами треугольника. Областью с наибольшим количеством связей и их силой в обеих группах является правая премоторная кора. Также характерной особенностью для исследуемых групп являются диаметральные связи фронтальной и затылочной ассоциативной коры.

Опираясь на теорию функциональных систем П.К. Анохина, формирование коррекционной программы бимануального движения будет происходить с одновременной работой всех корковых центров и соответственно генерацией активности различных частот, исходя из этого целесообразно рассматривать все зарегистрированные ритмы единовременно.

Так на Рисунке 23 мы отчетливо видим, что для женщин характерны высокой тесноты прямые связи в виде квадрата, в углах которого располагаются центры фронтальной и премоторной коры правого и левого больших полушарий. Данная модель имеет четкую структуру и обеспечивает ступенчатую работу каждого полушария, при этом опираясь на фронтальные и премоторные межполушарные связи, которые согласуют их деятельность. Выраженные связи правой лобной доли и премоторной области справа говорят, что финальные коррекционные программы формируются именно в третичных моторных полях фронтальной ассоциативной коры и передаются для исполнения в премоторную кору. Затылочная область коры слева имеет связи с диаметральной участком лобной доли, что может выразиться активным включением в процесс таламуса и его тормозным влиянием на эти участки.

У мужчин взаимосвязи имеют форму пятиугольника с правосторонней асимметрией, что говорит о присоединении к фронтальному и премоторному участкам правой височной доли. В отличие от женской группы, здесь наблюдаются мультиполярные связи между всеми корковыми центрами, которые обеспечивают более быструю и точную передачу информации для формирования энграммы. Наличие связей правыми отделами фронтальной и премоторной корой, также может свидетельствовать о том, что финальная программа коррекции

бимануального движения формируется в третичных полях лобной ассоциативной коры справа и передается для исполнения в премоторную область справа. Важно отметить наличие сильных связей во всех частотных диапазонах в межполушарных связях затылочной области. По нашему мнению, там происходит обработка афферентной информации и извлечение из памяти уже имеющихся программ движений. Затем на основании анализа третичных моторных полей ассоциативной затылочно-теменной коры и таламических влияние происходит торможение и корректировка выработанных программ во фронтальной коре, т.к. в основе координации любой деятельности лежат сочетанная работа торможения-возбуждения. Включение в данные процессы правой височной доли у мужчин может говорить о наличие специфических центров в этой области, которые могут хранить в себе информацию о программах движений, полученных из предыдущего опыта и обеспечивающих более координированную работу центров участвующих в формировании программ движений.

Особенности электрической активности коры больших полушарий в различных частотных диапазонах может послужить началом для создание обучаемой нейросети для полноценного профессионального отбора и оценки уровня двигательных навыков работников различных отраслей промышленности, где бимануальные движения являются основополагающим фактором производства. Кроме того, особенности выработки координационных программ, следует учитывать при разработках интерфейсов управления экзоконечностями [27, 38, 57, 72, 163, 186].

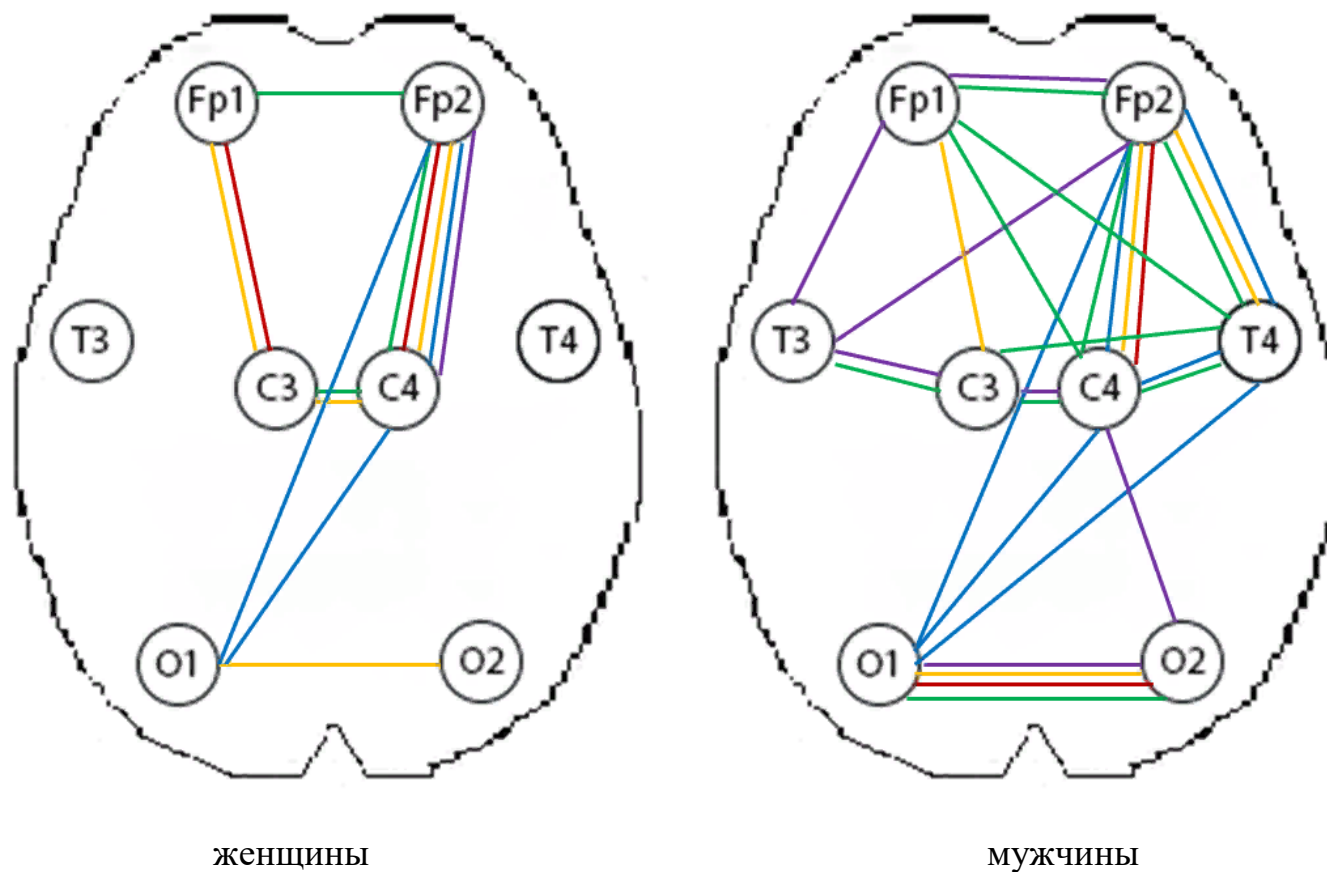


Рисунок 23 – Внутрисистемные корреляционные связи активности больших полушарий головного мозга у мужчин и женщин

Примечание –

— Высокочастотный бета-диапазон

— Альфа-диапазон

— Низкочастотный бета-диапазон

— Тета-диапазон

— Дельта-диапазон

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из теоретических основ Н.А. Бернштейна о центральных механизмах возникновения произвольной целенаправленной двигательной активности и формирования программ движений с их последующей реализацией, достижение результирующего движения, обеспечивается за счет функционального взаимодействия отделов коры больших полушарий головного мозга по принципу активации или торможения центральных структур. При этом различия в эффективности координационной деятельности, выявленные у разных полов, говорят о разных стратегиях выполнения произвольного движения. В данной работе продемонстрированы условия, при которых данные различия могут проявляться.

Внутрисистемный корреляционный анализ ЭЭГ активности при реализации сложнскоординированного бимануального движения позволяет установить силу взаимоотношений различных структур в инициации и коррекции локомоции при различных уровнях бимануальной координации. Путем сравнительного анализа происходит выявление различных вариантов системной организации моторного акта и выявление наиболее эффективных стратегий.

ВЫВОДЫ

1. При реализации сложнокоординированных бимануальных движений у мужчин и женщин наблюдается различные механизмы выполнения и коррекции локомоций. Так для мужчин характерен пластичный тип реагирования благодаря выраженной работе звена обратной афферентации и выработке точных коррекционных программ высшими корковыми отделами, в то время как для женщин детерминирована жесткость выполнения изначально выработанной программы локомоции и ориентирована на исправление ошибки, а не ее предотвращение.

2. В ходе последовательного выполнения заданий суппортметрии для мужчин характерна преднастройка, т.е. на основе анализа афферентной информации и имеющегося опыта формируется изначально более точная программа выполнения движения в корковых моторных центрах, в то время как для женщин характерна работа методом «проб и ошибок». Это значит, что для каждого следующего выполнения задания формируется новая энграмма движения путем перестройки, имеющейся функционально активной.

3. Анализ межкорковых взаимодействий в результате выработки коррекционных программ сложных бимануальных движений в женской группе показал наличие определённой структуры взаимосвязей, в которую включены лишь фронтальные и премоторные участки, обуславливающие при их ипсилатеральном взаимодействии менее совершенную программу выполнения движения, наблюдаемую во время выполнения заданий суппортметрии. При этом мужская группа характеризуется наличием множества межполушарных связей с активным включением в процесс правой височной области, а также сильное межполушарное взаимодействие затылочной и фронтальной ассоциативной коры, что может говорить о высоком влиянии процессов памяти в более качественной выработке программы двигательного акта.

4. При регистрации быстрых волн электрической активности коры больших полушарий, а именно в высокочастотном бета-диапазоне, который характеризует

моторную активность, у женщин в левой лобной доле имеются центры, которые выполняют роль коммутатора для сбора информации с различных участков мозга и формирование первичной коррекционной программы. При этом формирование результирующей коррекционной программы происходит в третичных моторных полях ассоциативной лобной коры справа. Регистрация увеличения альфа-активности в центрах коры больших полушарий говорит о последовательной активации в определённом порядке фронтальной ассоциативной коры и премоторной области. Кроме того, эти центры обладают диффузными двусторонними связями, которые обеспечивают высшую степень функционирования и координационной деятельности. Для мужчин в бета-диапазоне характерны развитые межполушарные связи и равномерная работа фронтальной коры. При этом регистрация альфа-активности характеризуется многосторонними связями правой височной доли с фронтальной и премоторной корой, односторонним включением левой височной области и полигональными связями фронтальной ассоциативной коры с премоторной областью справа.

5. Медленные волны у женщин, в частности тета-ритм, имеет сложную межполушарную асимметрию и обуславливает веерообразное распределение связей. Активность в дельта-диапазоне характеризуется диаметральными связями правой фронтальной и левой затылочной ассоциативной коры, говорящей о сильной активации восходящих тормозных структур таламуса и нисходящих активирующихся структур коры. В мужской группе активность в тета-диапазоне имеет более выраженные значения и регистрируется множество высокой тесноты мультиполярных связей, что может говорить о высокой степени включения в процесс специфических гиппокампальных ядер. У мужчин в дельта-диапазоне в процессе коррекции программы двигательного акта также вовлекается правая височная область и говорит о включении в работу центров пространственной ориентации.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выявленные закономерности формирования программ произвольных бимануальных сложнокоординированных движений с учетом гендерной принадлежности, могут служить основой для совершенствования интерфейсов мозг-компьютер и реализации разработок по экзоконечности. Кроме того, может послужить базой для формирования нейросетей и искусственного интеллекта для обеспечения профессионального отбора на производства, связанные с координацией деятельности рук, в различные виды спорта, в том числе и для прогноза успешности спортивной деятельности, профессионального отбора на обучение игре на музыкальных инструментах.

2. Полученные новые фундаментальные данные о внутрисистемных корковых связях при формировании и коррекции программ двигательного акта могут использоваться в учебном процессе медицинских вузов

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВВК – время вне контура

ВНК – время на контуре

ИПК – интегральный показатель координации

КО – количество ошибок

ОВ – общее время

СК – скорость выполнения задания

СР – скорость реакции

фМРТ – Функциональная магнитно-резонансная томография

ЦНС – центральная нервная система

ЭЭГ – электроэнцефалография

.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абумуслимов, С. С. Средняя частота ритмов ЭЭГ после выполнения пробы с кольцами ландолффа / С. С. Абумуслимов, З. А. Магомедова. – Текст (визуальный): непосредственный // Ежегодная итоговая научно-практическая конференция научно-педагогических работников : сборник материалов конференции (Грозный, 22 февраля 2023 г). – Грозный, 2023. – С. 110–118.
2. Активность зеркальных нейронов у человека при наблюдении и восприятии времени / Ю. В. Бушов, М. В. Светлик, Е. А. Есипенко [и др.]. – Текст (визуальный): непосредственный // Современные технологии в медицине. – 2019. – № 1. – С. 69–75.
3. Александров, А. А. Изменения μ -ритма при различных формах двигательной активности и наблюдении движений / А. А. Александров, С. М. Тугин. – Текст (визуальный): непосредственный // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2010. – Т. 96, №. 11. – С. 1088–1096.
4. Александров, Ю. И. Психофизиологическое значение активности центральных и периферических нейронов в поведении / Ю. И. Александров. – Москва : Наука, 1989. – 208 с. – Текст (визуальный): непосредственный.
5. Аликина, М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко. – Текст (визуальный): непосредственный // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2016. – Т. 2 (68), № 2. – С. 3–24.
6. Андриянов, Н. А. Применение методов машинного обучения для распознавания активности головного мозга по данным электроэнцефалограмм / Н. А. Андриянов. – Текст (визуальный): непосредственный // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : материалы 24-й Всероссийской молодежной научной конференции (Ульяновск, 26-28 октября 2021 г.) – Ульяновск, 2021. – С. 64–66.
7. Анохин, П. К. Кибернетика функциональных систем : избранные труды

/ П. К. Анохин ; под редакцией профессора К. В. Судакова. – Москва : Медицина, 1998. – 400 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

8. Анохин, П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / П. К. Анохин. – Текст (визуальный): непосредственный // Принципы системной организации функций : [сборник статей] / [ответственный редактор академик П. К. Анохин] ; [АН СССР. Научный совет по физиологии высшей нервной деятельности и нейрофизиологии]. – Москва, 1973. – С. 5–61.

9. Анохин, П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П. К. Анохин. – Москва : Наука, 1980. – 202 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

10. Асланян, Е. В. Гендерные особенности межполушарной асимметрии параметров ВП при восприятии различных зрительных стимулов / Е. В. Асланян, В. Н. Кирой. – Текст (визуальный): непосредственный // Асимметрия. – 2018. – Т. 12, № 4. – С. 15–26.

11. Асланян, Е. В. Динамика ЭЭГ при произвольном управлении некоторыми параметрами собственного мозга в условиях БОС-тренинга / Е. В. Асланян, В. Н. Кирой. – Текст (визуальный): непосредственный // Механизмы функционирования нервной, эндокринной и висцеральных систем в процессе онтогенеза : материалы Международной научной конференции, посвященной 75-летию Адыгейского государственного университета (Майкоп, 8-9 октября 2015 г.). – Майкоп, 2015. – С. 78–82.

12. Астащенко, А. П. Изменения фронтальной функциональной асимметрии головного мозга в процессах смещения внимания к эмоциональным стимулам / А. П. Астащенко, Е. Г. Якимова, Е. В. Дорохов. – DOI 10.19163/1994–9480-2019-4(72)-49–52. – Текст : электронный // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2019. – № 4 (72). – С. 49–52.

13. Ашуркова, Е. С. Исследование произвольной ритмической активности руки в аспекте сенсомоторной работоспособности (Сообщение 2) / Е. С. Ашуркова, А. Я. Рыжов, А. В. Павленко. – Текст (визуальный): непосредственный // Актуальные проблемы физиологии труда в XXI веке : сборник научных статей ; Тверской государственный университет. – Тверь, 2006. – С. 45–52.

14. Базанова, О. М. Использование индивидуальных характеристик ЭЭГ для повышения эффективности биоуправления / О. М. Базанова, Л. И. Афтанас. – Текст (визуальный): непосредственный // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2006. – Т. 106, № 2. – С. 31–36.

15. Базанова, О. М. Успешность обучения и индивидуальные частотно-динамические характеристики альфа-активности электроэнцефалограммы / О. М. Базанова, Л. И. Афтанас. – Текст (визуальный): непосредственный // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2006. – № 6. – С. 30–33.

16. Барулин, А. Е. ЭЭГ-корреляты уровня работоспособности лиц молодого возраста при стресс-индуцированном бруксизме / А. Е. Барулин, А. Е. Клаучек, С. В. Клаучек. – DOI 10.33667/2078–5631-2021-36-25-29. – Текст : электронный // Медицинский алфавит. – 2021. – № 36. – С. 25–29.

17. Бердичевская, Е. М. Функциональная межполушарная асимметрия и спорт / Е. М. Бердичевская, А. С. Гронская. – Текст (визуальный): непосредственный // Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / Российская академия медицинских наук, Научный центр неврологии ; ответственный редактор: В. Ф. Фокин. – Москва, 2009. – С. 647–691.

18. Бердников, Д. В. Психофизиологические основы организации регуляции целенаправленной деятельности (обзор литературы) / Д. В. Бердников, В. Я. Апчел, И. И. Бобынцев. – DOI 10.33396/1728–0869-2016-10-37-46. – Текст : электронный // Экология человека. – 2016. – № 10. – С. 37–46.

19. Берштейн, Н. А. Физиология движений и активность : [сборник] / Н. А. Берштейн ; под редакцией О. Г. Газенко. – Москва : Наука, 1990. – 494 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

20. Берштейн, Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / Н. А. Берштейн ; Академия медицинских наук СССР. – Москва : Медицина, 1966. – 350 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

21. Биопотенциалы мозга человека (математический анализ) / [В. С. Русинов, О. М. Гриндель, Г. Н. Болдырева, Е. М. Вакар] ; под редакцией В. С. Русинова. – Москва : Медицина, 1987. – 254 с. – Текст (визуальный):

непосредственный.

22. Биоэлектрическая активность головного мозга и церебральная гемодинамика у спортсменов при сочетании когнитивной и физической нагрузки / Л. В. Капилевич, Г. С. Ежова, А. Н. Захарова [и др.]. – DOI 10.1134/S0131164619010089. – Текст : электронный // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 2. – С. 58–69.

23. Брагина, Н. Н. Функциональные асимметрии человека / Н. Н. Брагина, Т. А. Доброхотова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Медицина, 1988. – 237 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

24. Брыксина, З. Г. Эволюционная кортиколизация функций произвольного управления движениями / З. Г. Брыксина, В. В. Ковалёв, Е. Г. Молчанова. – Текст (визуальный): непосредственный // Акмеология. – 2018. – № 2 (66). – С. 33–37.

25. Булатецкий, С. В. Применение метода корреляционных плеяд в изучении особенностей системной организации и продуктивности психофизиологических процессов у курсантов с разной успешностью профессионального обучения / С. В. Булатецкий, А. С. Марков. – Текст (визуальный): непосредственный // Российский научный журнал. – 2015. – № 6 (49). – С. 150–156.

26. Вариативность координационной структуры технических действий в боксе в условиях развивающегося утомления / С. А. Моисеев, А. М. Пухов, Е. А. Михайлова [и др.]. – DOI 10.37482/2687–1491-Z041. – Текст : электронный // Журнал медико-биологических исследований. – 2021. – Т. 9, № 1. – С. 35–44.

27. Вегетативное обеспечение целенаправленной деятельности и её результативность у практически здоровых лиц / Р. А. Зорин, Ю. И. Медведева, И. С. Курепина [и др.]. – DOI 10.23888/НМЖ20197138-45. – Текст : электронный // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 38–45.

28. Взаимосвязь показателей психодинамических характеристик и общей физической работоспособности студентов медицинского университета / И. М. Мазикин, М. М. Лапкин, М. В. Акулина [и др.]. – Текст (визуальный): непосредственный // Теория и практика физической культуры. – 2022. – № 8. – С.

26–29.

29. Влияние профиля латеральной организации головного мозга на результативность спортивной деятельности человека и методы его выявления / И. М. Мазикин, М. М. Лапкин, Н. А. Воцинина, В. Д. Прошляков. – Текст (визуальный): непосредственный // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2016. – Т. 24, № 2. – С. 117–126.

30. Гланц, С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц ; перевод с английского Ю. А. Данилова ; под редакцией Н. Е. Бузикашвили, Д. В. Самойлова. – Москва : Практика, 1999. – 459 с.: ил. – Текст (визуальный): непосредственный.

31. Голдберг, Э. Управляющий мозг: лобные доли, лидерство и цивилизация / Э. Голдберг ; [авториз. перевод с английского Д. Бугакова]. – Москва : Смысл, 2003. – 333, [2] с.: ил. – (Точка роста). – Текст (визуальный): непосредственный.

32. Голубев, В. Н. Управление двигательной активностью человека при экстремальных состояниях / В. Н. Голубев, П. В. Родичкин. – Текст (визуальный): непосредственный // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2013. – № 2 (42). – С. 126–133.

33. ГОСТ Р ИСО 5479–2002. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения = Statistical methods. Tests for departure of the probability distribution from the normal distribution : государственный стандарт Российской Федерации / Разработан международным техническим комитетом по стандартизации МТК 125 «Статистические методы в управлении качеством продукции». – Введен впервые: Введен 2002-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2002. – IV, 25 с. – (Статистические методы). – Текст (визуальный): непосредственный.

34. Гранит, Р. Основы регуляции движений / перевод с английского Ю. И. Лашкевича ; под редакцией д-ра мед. наук В. С. Гурфинкеля. – Москва : Мир, 1973. – 367 с., ил. – Текст (визуальный): непосредственный.

35. Гуляев, С. А. Электроэнцефалография и исследования функциональной активности головного мозга / С. А. Гуляев. – DOI 10.17650/2073–8803–2021-16-4-

59-68. – Текст : электронный // Русский журнал детской неврологии. – 2021. – Т. 16, №. 4. – С. 59–68.

36. Гутор, А. Г. Статистические критерии Манна - Уитни и Вилкоксона в исследованиях эффективности обучения / А. Г. Гутор, С. П. Сташуленок // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов VIII Международной научной конференции, посвященной памяти А. Л. Иозефера (Омск, 20 ноября 2020 г.). – Омск : Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, 2020. – С. 19–21. – Текст (визуальный): непосредственный.

37. Двейрина, О. А. Координационные способности: определение понятия, классификация форм проявления / О. А. Двейрина. – Текст (визуальный): непосредственный // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2008. – № 1(35). – С. 35–38.

38. Двигательные единицы и мотонейронный пул / Р. С. Персон – Текст (визуальный) : непосредственный // Физиология движений / В. А. Богданов, А. Г. Фельдман, Р. С. Персон [и др.] ; ответственный редактор В. С. Гурфинкель. – Ленинград, 1976. – С. 69.

39. Денисова, Е. Г. Электрофизиологические корреляты распознавания визуальных иллюзий: исследование вызванной активности мозга / Е. Г. Денисова, Ю. Н. Зайцева, П. Н. Ермаков – DOI 10.11621/nrj.2023.0209. – Текст (визуальный): непосредственный // Национальный психологический журнал. – 2023. – №. 2 (50). – С. 119–128.

40. Динамика спектральных характеристик ЭЭГ у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности / Т. Д. Джебраилова, И. И. Коробейникова, Н. А. Каратыгин [и др.]. – DOI 10.31857/S0131164621010033. – Текст (визуальный): непосредственный // Физиология человека. – 2021. – Т. 47, № 1. – С. 20–30.

41. Думенко, В. Н. Высокочастотные компоненты ЭЭГ и инструментальное обучение / В. Н. Думенко ; Российская академия наук, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии. – Москва : Наука, 2006. – 150, [1] с.: ил., табл. – Текст (визуальный): непосредственный.

42. Емцова, Э. А. Функциональная асимметрия полушарий головного мозга / Э. А. Емцова. – Текст (визуальный): непосредственный // Медицина завтрашнего дня: материалы XVII межрегиональной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 65-летию Читинской государственной медицинской академии (Чита, 17–20 апреля 2018 г.) / Читинская государственная медицинская академия. – Чита, 2018. – С. 266–267.

43. Завьялов, А. В. Соотношение функций организма: (экспериментальный и клинико-физиологические аспекты) : монография / А. В. Завьялов. – Москва : Медицина, 1990. – 159 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

44. Звёздочкина, Н. В. Исследование электрической активности головного мозга: учебно-методическое пособие / Н. В. Звёздочкина. – Казань : Казанский университет, 2014. – 59 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

45. Зенков, Л. Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) : руководство для врачей / Л. Р. Зенков. – 9-е изд. – Москва : МЕДпресс-информ, 2004. – 368 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

46. Зенков, Л. Р. Функциональная диагностика нервных болезней : руководство для врачей / Л. Р. Зенков, М. А. Ронкин. – Москва : МЕДпресс-информ, 2004. – 578 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

47. Значение профиля межполушарной асимметрии для спортивной деятельности / Е. Д. Хомская, И. В. Ефимова, В. А. Куприянов [и др.]. – Текст (визуальный) : непосредственный // Теория и практика физической культуры. – 1989. – № 1. – С. 8–12.

48. Зорин, Р. А. Сравнительный анализ механизмов эффективности целенаправленной деятельности у здоровых людей и больных эпилепсией и прогнозирование течения заболевания: специальность 03.03.01 «Физиология» : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Зорин Роман Александрович. – Рязань, 2017. – 281 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

49. Иващенко, Е. А. Анализ ЭЭГ при организации целенаправленного движения / Е. А. Иващенко, С. П. Лавриченко, И. Н. Федорова. – Текст

(визуальный): непосредственный // Физическая культура и спорт. Олимпийское образование: материалы международной научно-практической конференции (Краснодар, 11 февраля 2019 г.). – Краснодар, 2019. – Ч. 1. – С. 275–276.

50. Изменения паттернов сенсомоторных ритмов ЭЭГ при двигательном воображении / В. Ф. Пятин, А. В. Колсанов, М. С. Сергеева [и др.]. – Текст (визуальный): непосредственный // Наука и инновации в медицине. – 2016. – № 1(1). – С. 46–51.

51. Иоффе, М. Е. Мозговые механизмы формирования новых движений при обучении: эволюция классических представлений / М. Е. Иоффе. – Текст (визуальный): непосредственный // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. – 2003. – № 1(31). – С. 26–47.

52. Исследование влияния тактильной обратной связи на генерацию паттернов ЭЭГ, соответствующих воображаемым движениям, для работы с интерфейсом мозг-компьютер / А. М. Удоратина, М. В. Лукоянов, С. Ю. Гордлеева [и др.]. – Текст (визуальный): непосредственный // Биосистемы: организация, поведение, управление : тезисы докладов 73-й Всероссийской с международным участием школы-конференции молодых ученых (Нижний Новгород, 28–30 октября 2020 г.). – Нижний Новгород : Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 2020. – С. 211.

53. Исследование функциональной роли и нейронных механизмов деятельности моторного таламуса и стриатума в системах управления и реализации произвольных двигательных реакций человека / С. Н. Раева, И. В. Басова, М. А. Вайнберг [и др.] ; Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН (ИХФ РАН). – РФФИ: 95-04-11082-а. – Текст : электронный // Информационный бюллетень РФФИ. – 1995. – № 3. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_220803_61977364.htm.

54. Кабачкова, А. В. Влияние уровня двигательной активности на пространственное распределение бета-ритма электроэнцефалограммы / А. В. Кабачкова, Г. С. Лалаева, А. Н. Захарова. – Текст (визуальный): непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура.

Спорт. – 2016. – № 1. – С. 50–59.

55. Казенников, О. В. Исследование перекрестных влияний во время упреждающих изменений двигательной активности / О. В. Казенников, Т. Б. Киреева, В. Ю. Шлыков. – DOI 10.1134/S0131164619060067. – Текст : электронный // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 6. – С. 52–58.

56. Карасев, Р. П. Соотношение психодинамических характеристик и показателей функциональной латерализации в системной организации целенаправленного поведения человека при различных уровнях психоэмоционального напряжения : специальность 03.00.13 «Физиология» : диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Карасев Роман Петрович. – Рязань, 2009. – 203 с. – Текст (визуальный): непосредственный.

57. Керечанин, Я. В. Направленное взаимодействие источников ЭЭГ специфичных для воображения движений / Я. В. Керечанин, П. Д. Бобров. – DOI 10.24412/cl-36601-2021-1-164-169. – Текст : электронный // Сборник трудов XXV научной школы-конференции молодых ученых по физиологии высшей нервной деятельности и нейрофизиологии: материалы школы-конференции (Москва, 27–28 октября 2021 г.). – Москва, 2021. – С. 164–169.

58. Кирой, В. Н. Механизмы формирования и роль осцилляторной активности нейронных популяций в системной деятельности мозга / В. Н. Кирой, Е. И. Белова. – Текст (визуальный): непосредственный // Журнал высшей нервной деятельности. – 2000. – Т. 50, № 2. – С. 189–191.

59. Клименко, А. В. Взаимосвязь между уровнем нейротизма и результативностью целенаправленной деятельности человека на модели базовых эндохирургических тренировок / А. В. Клименко, С. С. Перцов, И. Ю. Яковенко. – DOI 10.1134/S0131164619050047. – Текст : электронный // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 6. – С. 68–75.

60. Контроль траекторий целенаправленных движений руки / А. М. Бадаква, Н. В. Миллер, Л. Н. Зобова, В. Ю. Рощин. – DOI 10.21687/0233-528X-2019-53-4-28-37. – Текст : электронный // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53, № 4. – С. 28–37.

61. Корреляция физиологических функций в норме и патологии / А. В. Завьялов, В. Н. Крутько, Ю. Г. Ткаченко и [др.]. ; под общей редакцией профессора А. В. Завьялова. – Курск : [б. и.], 1978. – 107 с., 1 л. табл. – Текст (визуальный) : непосредственный.

62. Кортикальная и мышечная активность при управлении кортико-спинальным нейроинтерфейсом с использованием чрескожной стимуляции спинного мозга / Е. В. Боброва, В. В. Решетникова, А. А. Гришин [и др.]. – Текст (визуальный) : непосредственный // Сборник тезисов XXIV съезда физиологического общества им. И. П. Павлова (Санкт-Петербург, 11–15 сентября 2023 г.). – Санкт-Петербург, 2023. – С. 300.

63. Курганский, А. В. Зрительно-моторная синхронизация: анализ фаз инициации и устойчивой синхронизации / А. В. Курганский. – Текст (визуальный) : непосредственный // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, № 3. – С. 30–40.

64. Курганский, А. В. Количественные меры кортико-кортикального взаимодействия: современное состояние / А. В. Курганский. – DOI 10.7868/S0131164613030144. – Текст : электронный // Физиология человека. – 2013. – Т. 39, № 4. – С. 112.

65. Курганский, А. В. О факторах, определяющих максимально быстрый темп выполнения двигательных последовательностей / А. В. Курганский. – Текст (визуальный) : непосредственный // Российский журнал когнитивной науки. – 2016. – Т. 3, № 4. – С. 26–44.

66. Лазуренко, Д. М. Произвольные мысленные эквиваленты реальных движений: спектральный анализ ЭЭГ / Д. М. Лазуренко, П. Д. Шапошников, Д. И. Шепелев. – Текст (визуальный) : непосредственный // Приоритетные направления развития науки и технологий: XXVIII Международная научно-практическая конференция (Тула, 12 марта 2021 г.). – Тула, 2021. – С. 80–87.

67. Лалаева, Г. С. Влияние уровня двигательной активности на пространственное распределение тета-ритма электроэнцефалограммы / Г. С. Лалаева, А. Н. Захарова, А. В. Кабачкова. – DOI 10.15293/2226–3365.1601.13. – Текст : электронный // Вестник Новосибирского государственного педагогического

университета. – 2016. – № 1(29). – С. 141–148.

68. Лапкин, М. М. Исследование психологических и физиологических детерминант успешности обучения студентов в медицинском вузе / М. М. Лапкин, Н. В. Яковлева, В. Д. Прошляков. – Текст (визуальный) : непосредственный // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. – 2014. – № 1(4). – С. 75–83.

69. Лебедева, Н. Н. Устойчивость паттернов ЭЭГ человека в различных задачах: проблема аутентификации личности / Н. Н. Лебедева, Е. Д. Каримова. – Текст (визуальный) : непосредственный // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2020. – Т. 70, №. 1. – С. 40–49.

70. Лурия, А. Р. Высшие корковые функции и их нарушения при локальных поражениях мозга / А. Р. Лурия. – Москва : Изд-во Московского университета, 1962. – 432 с. – Текст (визуальный) : непосредственный.

71. Мазикин, И. М. Формирование надежного прогноза результативности целенаправленной физической активности человека на основе физиологических и психофизиологических предикторов / И. М. Мазикин, М. М. Лапкин, Р. А. Зорин. – Текст (визуальный) : непосредственный // Физиология - актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения академика Петра Кузьмича Анохина (Волгоград, 16–17 мая 2023 г.) / Волгоградский государственный медицинский университет. – Волгоград, 2023. – С. 222–228.

72. Мамажонов, З. А. Анатомио-топографические особенности височной доли мозга в постнатальном онтогенезе / З. А. Мамажонов. – Текст (визуальный) : непосредственный // Экономика и социум. – 2020. – № 6 (73). – С. 867–872.

73. Меделяновский, А. Н. Функциональные системы, обеспечивающие гомеостаз / А. Н. Меделяновский. – Текст (визуальный) : непосредственный // Функциональные системы организма. – Москва, 1987. – С. 77–103.

74. Меркулова, М. А. Гендерные особенности формирования целенаправленного поведения человека при воспроизведении зрительных образов

с различной результативностью / М. А. Меркулова, М. В. Акулина, М. М. Лапки. – DOI 10.22363/2313–0245-2019-23-3-308-317. – Текст : электронный // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. – 2019. – Т. 23, № 3. – С. 308–317.

75. Методика пространственно-временного анализа электрической активности головного мозга / А. Е. Руннова, М. О. Журавлев, А. Р. Киселев, А. О. Сельский. – DOI 10.21883/PJTF.2020.11.49498.18023. – Текст : электронный // Письма в Журнал технической физики. – 2020. – Т. 46, №. 11. – С. 39–42.

76. Моренова, К. А. Ритмы ЭЭГ и их особенности у лиц с разными профилями моторного доминирования в условиях двигательной активности / К. А. Моренова. – Текст (визуальный) : непосредственный // Молодежь и современная наука : сборник научных статей Международной междисциплинарной научно-практической конференции (Самара, 15 июня 2021 г.). – Самара, 2021. – С. 70–76.

77. Наркевич, А. Н. Выбор метода для статистического анализа медицинских данных и способа графического представления результатов / А. Н. Наркевич, К. А. Виноградов. – Текст (визуальный) : непосредственный // Социальные аспекты здоровья населения. – 2019. – Т. 65, № 4. – С. 9.

78. Новиков, Д. А. Статистические методы в медико-биологическом эксперименте (типовые случаи) / Д. А. Новиков, В. В. Новочадов ; Российская академия медицинских наук, Волгоградский научный центр РАМН и Администрация Волгоградской области. – Волгоград : Изд-во ВолГМУ, 2005. – 83 с.: ил., табл. – Текст (визуальный) : непосредственный.

79. Павленко, В. Б. Роль коры мозга и подкорковых аминергических структур в организации целенаправленного поведенческого акта: специальность 03.00.13 «Физиология человека и животных» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук ; Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского / Павленко Владимир Борисович. – Симферополь, 2004. – 47 с. – Текст (визуальный) : непосредственный.

80. Павлова, О. Г. Первичная моторная кора как один из уровней построения движений / О. Г. Павлова. – DOI 10.7868/S0044467714060082. – Текст :

электронный // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2014. – Т. 64, № 6. – С. 600.

81. Петрова, Е. В. Особенности влияния многоканальной электростимуляции на произвольную двигательную активность у испытуемых разных полов / Е. В. Петрова. – Текст (визуальный) : непосредственный // Региональный вестник. – 2019. – № 18(33). – С. 18–19.

82. Платонов, А. Е. Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерные методы / А. Е. Платонов. – Москва : Издательство РАМН, 2000. – 52 с. – Текст (визуальный) : непосредственный.

83. Плохинский, Н. А. Биометрия : [учебное пособие для студентов биологических специальностей университетов]. – 2-е изд. – Москва : Изд-во Московского университета, 1970. – 367 с.: черт. – Текст (визуальный) : непосредственный.

84. Поиск информативных частотных диапазонов и временных границ ЭЭГ для решения задачи классификация паттернов мысленных движений / А. И. Саевский, И. Е. Шепелев, Д. Г. Шапошников, Д. М. Лазуренко. – Текст (визуальный) : непосредственный // Приоритетные направления развития науки и технологий : XXVIII Международная научно-практическая конференция (Тула, 12 марта 2021 г.). – Тула, 2021. – С. 93–97.

85. Поиск ЭЭГ-маркеров произвольного компонента двигательной активности человека / Е. В. Шарова, Г. Н. Болдырева, Л. А. Жаворонкова [и др.]. – DOI 10.17513/spno.29818. – Текст : электронный // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 3. – С. 108.

86. Привес, М. Г. Анатомия человека / М. Г. Привес, Н. К. Лысенков, В. И. Бушкович. – 12-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 720 с. – Текст (визуальный) : непосредственный.

87. Применение методов регрессионного анализа в биомедицинских исследованиях / Л. В. Синдеева, Н. Н. Медведева, В. Г. Николаев [и др.]. – Текст (визуальный) : непосредственный // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – Т. 20, № 2. – С. 216–219.

88. Проблема центра и периферии в физиологии нервной деятельности: сборник работ / отделение общей физиологии высшей нервной деятельности Всесоюзного института экспериментальной медицины и Кафедра физиологии Горьковского медицинского института ; ответственный редактор профессор П. Анохин. – [Горький] : Полиграф, 1935. – 490 с., ил. – Текст (визуальный) : непосредственный.

89. Решетникова, В. В. Влияние обратных связей при воображении движений стопы на активность передней большеберцовой мышцы и на активность мозга / В. В. Решетникова, М. Р. Исаев, Д. Р. Пляченко. – Текст (визуальный) : непосредственный // Фундаментальная наука и клиническая медицина - человек и его здоровье : материалы XXVI Международной медико-биологической конференции молодых исследователей (Санкт-Петербург, 22 апреля 2023 г.). / под редакцией А. М. Сараны [и др.]. – Санкт-Петербург, 2023. – Т. XXVI. – С. 704–705.

90. Русалова, М. Н. Функциональная асимметрия мозга: эмоции / М. Н. Русалова. – Текст (визуальный) : непосредственный // Функциональная межполушарная асимметрия: хрестоматия. – Москва, 2004. – С. 322–348.

91. Русалова, М. Н. Функциональная асимметрия мозга и эмоции / М. Н. Русалова, В. М. Русалов. – Текст (визуальный) : непосредственный // Руководство по функциональной межполушарной асимметрии / Российская академия медицинских наук, Научный центр неврологии ; ответственный редактор: В. Ф. Фокин – Москва, 2009. – С. 521–551.

92. Связанные с движением потенциалы мозга человека как электрографический коррелят подготовки и реализации произвольного двигательного акта / Е. М. Трошина, О. Б. Сазонова, О. А. Кроткова [и др.]. – Текст (визуальный) : непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 5. – С. 57–62.

93. Семенова, О. А. Формирование произвольной регуляции деятельности и ее мозговых механизмов в онтогенезе / О. А. Семенова. – Текст (визуальный) : непосредственный // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 3. – С. 115–127.

94. Сенсорная организация движений : [сборник статей] / [редакционная

коллегия: А. С. Батуев [и др.] ; АН СССР. Научный совет по комплексным проблемам физиологии человека и животных. – Ленинград : Наука, 1975. – 234 с. – Текст (визуальный) : непосредственный.

95. Славуцкая, А. В. Связанные с полом стратегии решения зрительно-пространственных задач / А. В. Славуцкая, Н. Ю. Герасименко, Е. С. Михайлова. – Текст (визуальный) : непосредственный // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 11. – С. 1339–1349.

96. Соколова, Н. И. Тонкие манипуляторные движения как характеристика организации и уровня произвольной двигательной активности / Н. И. Соколова, Е. В. Петрова, П. В. Ткаченко – Текст (визуальный) : непосредственный // Региональный вестник. – 2019. – № 14 (29). – С. 12–14.

97. Спектральные характеристики ЭЭГ в динамике произвольной двигательной активности / Е. В. Асланян, В. Н. Кирой, Д. М. Лазуренко [и др.]. – DOI 10.7868/S0044467714020038. – Текст : электронный // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2014. – Т. 64, № 2. – С. 147.

98. Структурно-функциональные особенности работы мозга при выполнении и представлении двигательных нагрузок у здоровых людей (ЭЭГ и фМРТ исследования) / Г. Н. Болдырева, Е. В. Шарова, Л. А. Жаворонкова [и др.]. – DOI 10.7868/S0044467713030039. – Текст : электронный // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2013. – Т. 63, № 3. – С. 316.

99. Судаков, К. В. Доминирующая мотивация в формировании целеустремленной личности / К. В. Судаков. – Текст (визуальный) : непосредственный // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2006. – № 9–10. – С. 114–121.

100. Судаков, К. В. Общие закономерности динамической организации функциональных систем / К. В. Судаков. – Текст (визуальный) : непосредственный // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». – 2005. – № 2. – С. 4–13.

101. Судаков, К. В. Развитие теории функциональных систем в научной школе ПК Анохина / К. В. Судаков. – Текст : электронный // Вестник

Международной академии наук. Русская секция. – 2011. – №. 1. – С. 015–019. – URL: <http://www.heraldrsias.ru/online/2011/1/196/>.

102. Судаков, К. В. Функциональные системы / К. В. Судаков ; Российская академия медицинских наук. – Москва : Издательство РАМН, 2011. – 320 с. – Текст (визуальный) : непосредственный

103. Теплов, Б. М. Итоги и перспективы исследования типологических свойств нервной системы человека / Б. М. Теплов. – Текст (визуальный) : непосредственный // Проблемы индивидуальных различий : [избранные работы]. – Москва, 1961. – С. 509–535.

104. Ткаченко П. В. Взаимоотношения свойств темперамента и характеристик бимануальной координации движений / П. В. Ткаченко, А. П. Должиков, И. В. Михайлов. – Текст (визуальный) : непосредственный // Сборник трудов. – 2008. – С. 118–121.

105. Ткаченко, П. В. Взаимоотношение характеристик асимметрии компонентов зрительных и слуховых вызванных потенциалов / П. В. Ткаченко, И. И. Бобынцев. – Текст (визуальный) : непосредственный // Медицинские науки. – 2012. – № 4. – С. 133–136.

106. Ткаченко, П. В. Динамика уровня тревожности в процессе дистанционного обучения / П. В. Ткаченко, Н. И. Белоусова, Е. В. Петрова. – DOI 10.26140/anip-2021-1004-0051. – Текст : электронный // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2021. – Т. 10, № 4 (37). – С. 213–215.

107. Ткаченко, П. В. Закономерности системной сенсомоторной организации сложнокоординированных бимануальных движений человека: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук : код специальности 03.03.01 «Физиология» / Ткаченко Павел Владимирович ; [научный консультант И. И. Бобынцев ; ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет»]. – Курск, 2014. – 46 с.: ил. – Текст (визуальный) : непосредственный.

108. Ткаченко, П. В. Значение асимметрии слуховой сенсорной системы в обеспечении сложнокоординированных движений рук / П. В. Ткаченко, И. И. Бобынцев. – Текст (визуальный) : непосредственный // Российский

физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 2. – С. 221–227.

109. Ткаченко, П. В. К вопросу о слуховом сенсорном обеспечении сложных произвольных целенаправленных бимануальных движений / П. В. Ткаченко, И. И. Бобынцев. – Текст (визуальный) : непосредственный // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2010. – Т. 96, № 11. – С. 1107–1113.

110. Ткаченко, П. В. Корреляционные взаимоотношения межполушарной асимметрии амплитудно-временных характеристик компонентов зрительных вызванных потенциалов и показателей уровня бимануальной координации движений / П. В. Ткаченко. – Текст (визуальный) : непосредственный // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Т. 15, № 3. – С. 180–182.

111. Ткаченко, П. В. Особенности сенсорного обеспечения монотонной психомоторной деятельности, требующей зрительного внимания / П. В. Ткаченко, И. И. Бобынцев. – Текст (визуальный) : непосредственный // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2012. – Т. 153, № 4. – С. 405–409.

112. Ткаченко, П. В. Особенности соотношений характеристик эффекторного аппарата и показателей бимануальной координации / П. В. Ткаченко, И. И. Бобынцев. – Текст (визуальный) : непосредственный // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». – 2015. – № 3. – С. 126–132.

113. Ткаченко, П. В. Роль психофизиологических аспектов сенсорного восприятия в эффективном формировании компетенций у обучающихся медицинского вуза / П. В. Ткаченко, Е. В. Петрова, Н. И. Белоусова. – DOI 10.26140/anip-2020-0904-0055. – Текст : электронный // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2020. – Т. 9, № 4 (33). – С. 247–249.

114. Ткаченко, П. В. Соотношение моторных и сенсорных функций человека / П. В. Ткаченко, И. И. Бобынцев. – Курск : Изд-во КГМУ, 2016. – 264 с. – Текст (визуальный) : непосредственный

115. Ткаченко, П. В. Типологические особенности нервной системы и успешность интеллектуальной деятельности / П. В. Ткаченко, Н. И. Белоусова, Е. В. Петрова. – DOI 10.26140/anip-2021-1004-0084. – Текст : электронный // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2021. – Т. 10, № 4 (37). – С. 366–

369.

116. Ткаченко, П. В. Уровни бимануальной координации и некоторые дифференциально-психофизиологические аспекты двигательной активности / П. В. Ткаченко. – Текст (визуальный) : непосредственный // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2006. – № 4. – С. 17–23.

117. Туровский, Я. А. Изменение частотной модуляции электроэнцефалографической активности в условиях воображаемого и реального движения конечностями / Я. А. Туровский, А. С. Давыдова, В. Ю. Алексеев. – Текст (визуальный) : непосредственный // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2023. – Т. 31, № 4. – С. 623–634.

118. Уразгильдеева, Г. Р. Новые возможности оценки функциональной активности головного мозга с помощью электроэнцефалографии высокого разрешения / Г. Р. Уразгильдеева, Н. В. Пономарева. – Текст (визуальный) : непосредственный // Бюллетень Национального общества по изучению болезни Паркинсона и расстройств движений. – 2021. – № 2. – С. 16–20.

119. Физиология движения / [В. А. Богданов, А. Г. Фельдман, Р. С. Персон и др.] ; [ред. коллегия: В. С. Гурфинкель (отв. ред.) и др.] ; Академия наук СССР, Научный совет по комплексным проблемам физиологии человека и животных. – Ленинград : Наука. Ленинградское отделение, 1976. – 375 с. : ил. – (Руководство по физиологии). – Текст (визуальный) : непосредственный.

120. ФМРТ исследование динамики реакций мозга человека при реализации произвольного движения / А. С. Седов, Д. А. Деветьяров, У. Н. Семенова [и др.]. – DOI 10.7868/S0044467715040115. – Текст : электронный // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2015. – Т. 65, № 4. – С. 436.

121. Халафян, А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: учебник / А. А. Халафян. – 2-е изд. – Москва : Бином-Пресс, 2007. – 512 с. – Текст (визуальный) : непосредственный

122. Шилова, З. В. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие / З. В. Шилова, О. И. Шилов. – Киров : Изд-во ВГГУ, 2015. – 158 с. – Текст (визуальный) : непосредственный.

123. Электрографические характеристики связанных с движениями потенциалов / Д. М. Лазуренко, В. Н. Кирой, Е. В. Асланян [и др.] – DOI 10.7868/S0044467717040050. – Текст : электронный // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2017. – Т. 67, № 4. – С. 430–444.

124. Электроэнцефалографические характеристики здоровых людей с разной успешностью выполнения двойных задач (позный контроль и счет) / Л. А. Жаворонкова, Е. М. Кушнир, А. В. Жарикова [и др.]. – Текст (визуальный) : непосредственный // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2015. – Т. 65, № 5. – С. 597.

125. ЭЭГ-маркеры организации вертикальной позы у здоровых людей / Л. А. Жаворонкова, А. В. Жарикова, Е. М. Кушнир, А. А. Михалкова. – Текст (визуальный) : непосредственный // Физиология человека. – 2012. – Т. 38, № 6. – С. 53.

126. ЭЭГ-фМРТ-анализ функциональной специализации мозга человека в норме и при церебральной патологии / Г. Н. Болдырева, Л. А. Жаворонкова, Е. В. Шарова [и др.]. – Текст (визуальный) : непосредственный // Медицинская визуализация. – 2012. – № 1. – С. 15–25.

127. A comparison of directed functional connectivity among fist-related brain activities during movement imagery, movement execution, and movement observation / L. Zhou, Q. Zhu, B. Wu. [et al.]. – DOI 10.1016/j.brainres.2021.147769. – Text : electronic // Brain Research. – 2022. – Vol. 1777. – P. 147769.

128. A novel neural network approach to creating a brain–computer interface based on the EEG patterns of voluntary muscle movements / I. E. Shepeley, D. M. Lazurenko, V. N. Kiroy [et al.]. – DOI 10.1007/s11055-018-0679-0. – Text : electronic // Neuroscience and Behavioral Physiology. – 2018. – Vol. 48. – P. 1145–1157.

129. A review of brain activity and EEG-based brain–computer interfaces for rehabilitation application / M. Orban, M. Elsamanty, K. Guo [et al.]. – Text : visual // Bioengineering. – 2022. – Vol. 9, № 12. – P. 768.

130. Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study / M. Lotze, P. Montoya, M. Erb [et al.]. – DOI

10.1162/089892999563553. – Text : electronic // Journal of Cognitive Neuroscience. – 1999. – Vol. 11, № 5. – P. 491–501.

131. Alle, H. Energy-efficient action potentials in hippocampal mossy fibers / H. Alle, A. Roth, J. R. P. Geiger. – DOI 10.1126/science.1174331. – Text : electronic // Science. – 2009. – Vol. 325, № 5946. – P. 1405–1408.

132. Analysis of gamma-band activity from human EEG using empirical mode decomposition / C. Amo, L. de Santiago, R. Barea [et al.]. – DOI 10.3390/s17050989. – Text : electronic // Sensors. – 2017. – Vol. 17, № 5. – P. 989.

133. Asymmetric spatiotemporal patterns of event-related desynchronization preceding voluntary sequential finger movements: a high-resolution EEG study / O. Bai, Z. Mari, S. Vorbach, M. Hallett. – DOI 10.1016/j.clinph.2005.01.006. – Text : electronic // Clinical neurophysiology. – 2005. – Vol. 116, № 5. – P. 1213–1221.

134. Boles, D. B. Asymmetry, and performance: Toward a neurodevelopmental theory / D. B. Boles, J. M. Barth, E. C. Merrill. – DOI 10.1016/j.bandc.2007.06.002. – Text : electronic // Brain and Cognition. – 2008. – Vol. 66, № 2. – P. 124–139.

135. Brakke, K. The development of bimanual coordination across toddlerhood / K. Brakke, M. Pacheco. – DOI 10.1111/mono.12405. – Text : electronic // Monographs of the Society for Research in Child Development. – 2019. – Vol. 84, № 2. – P. 7–147.

136. "Capacity reconsidered": interindividual differences in language comprehension and individual alpha frequency / I. D. Bornkessel, C. J. Fiebach, A. D. Friederici, M. Schlesewsky. – DOI 10.1027/1618-3169.51.4.279. – Text : electronic // Experimental Psychology. – 2004. – Vol. 51, № 4. – P. 279–289.

137. Changes in prefrontal cortical activity during walking and cognitive functions among patients with Parkinson's disease / M. Ranchet, I. Hoang, M. Cheminon [et al.]. – DOI 10.3389/fneur.2020.601686. – Text : electronic // Frontiers in Neurology. – 2020. – Vol. 11. – P. 601686.

138. Changes in the amplitude and direction of goal-directed hand movements in the lack of visual information / L. Angyan, T. Teczely, Z. Angyán, A. Petofi. – DOI 10.1556/APhysiol.93.2006.2-3.1. – Text : electronic // Acta physiologica Hungarica. – 2006. – Vol. 93, № 2-3. – P. 107–116.

139. Corballis, M. C. How asymmetries evolved: hearts, brains, and molecules / M. C. Corballis. – DOI 10.3390/sym13060914. – Text : electronic // *Symmetry*. – 2021. – Vol. 13, № 6. – P. [1–15].

140. Decoding voluntary movement of single hand based on analysis of brain connectivity by using EEG signals / T. Li, T. Xue, B. Wang, J., and Zhang. – DOI 10.3389/fnhum.2018.00381. – Text : electronic // *Frontiers in human neuroscience*. – 2018. – Vol. 12. – P. 381.

141. EEG during pedaling evidence for cortical control of locomotor tasks / S. Jain, K. Gourab, S. Schindler-Ivens, B. D. Schmit. – DOI 10.1016/j.clinph.2012.08.021. – Text : electronic // *Clinical Neurophysiology*. – 2013. – Vol. 124, № 2. – P. 379–390.

142. EEG feature comparison and classification of simple and compound limb motor imagery / W. Yi., S. Qiu, H. Qi. [et al.]. – DOI 10.1186/1743-0003-10-106. – Text : electronic // *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. – 2013. – Vol. 10. – P. 106.

143. EEG topographies provide subject-specific correlates of motor control / E. Pirondini, M. Coscia, J. Minguillon. – DOI 10.1038/s41598-017-13482-1. – Text : electronic // *Scientific reports*. – 2017. – Vol. 7, № 1. – P. 13229.

144. Efficacy of low-cost wireless neurofeedback to modulate brain activity during motor imagery / L. Power, H. F. Neyedli, S. G. Boe, T. Bardouille. – DOI 10.1088/2057-1976/ab872c. – Text : electronic // *Biomedical Physics & Engineering Express*. – 2020. – Vol. 6, № 3. – P. 035024.

145. Erlacher, D. Motor area activation during dreamed hand clenching: A pilot study on EEG alpha band / D. Erlacher, M. Schredl, S. LaBerge. – Text : visual // *Sleep and Hypnosis*. – 2003. – Vol. 5, № 4. – P. 182–187.

146. Exploration of computational methods for classification of movement intention during human voluntary movement from single trial EEG / O. Bai, P. Lin, S. Vorbach [et al.]. – DOI 10.1016/j.clinph.2007.08.025. – Text : electronic // *Clinical Neurophysiology*. – 2007. – Vol. 118, № 12. – P. 2637–2655.

147. Fatigue in multiple sclerosis is associated with abnormal cortical activation to voluntary movement-EEG evidence / L. Leocani, B. Colombo, G. Magnani [et al.]. – DOI 10.1006/nimg.2001.0759. – Text : electronic // *Neuroimage*. – 2001. – Vol. 13, № 6. – P.

1186–1192.

148. Feige, B. Dynamic synchronization between multiple cortical motor areas and muscle activity in phasic voluntary movements / B. Feige, A. D. Aertsen, R. Kristeva-Feige. – DOI 10.1152/jn.2000.84.5.2622. – Text : electronic // *Journal of Neurophysiology*. – 2000. – Vol. 84, № 5. – P. 2622–2629.

149. FMRI and EEG Reactions to Hand Motor Tasks in Patients with Mild Traumatic Brain Injury: Left-Hemispheric Sensitivity to Trauma / L. Zhavoronkova, S. Moraresku, G. Boldyreva [et al.]. – DOI 10.4236/jbbs.2019.96020. – Text : electronic // *Journal of Behavioral and Brain Science*. – 2019. – Vol. 9, № 6. – P. 273–287.

150. Functional imaging evidence for task-induced deactivation and disconnection of a major default mode network hub in the mouse brain / J. Ferrier, E. Tiran, T. Deffieux [et al.]. – DOI 10.1073/pnas.1920475117. – Text : electronic // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2020. – Vol. 117, № 26. – P. 15270–15280.

151. Girardeau, G. Brain neural patterns and the memory function of sleep / G. Girardeau, V. Lopes-dos-Santos. – DOI 10.1126/science.abi8370. – Text : electronic // *Science*. – 2021. – Vol. 374, № 6567. – P. 560–564.

152. Goal-directed and habitual control in the basal ganglia: implications for Parkinson's disease / P. Redgrave, M. Rodriguez, Y. Smith [et al.]. – DOI 10.1038/nrn2915. – Text : electronic // *Nature Reviews Neuroscience*. – 2010. – Vol. 11, № 11. – P. 760–772.

153. Hanagasioglu, M. Effect of voluntary locomotor activity on sleep in the rat / M. Hanagasioglu, A. A. Borbely. – DOI 10.1016/0166-4328(82)90060-2. – Text : electronic // *Behavioural brain research*. – 1982. – Vol. 4, № 4. – P. 359–368.

154. Harrewijn, A. Putative EEG measures of social anxiety: Comparing frontal alpha asymmetry and delta-beta cross-frequency correlation / A. Harrewijn, M. J. W. Van Der Molen, P. M. Westenberg. – DOI 10.3758/s13415-016-0455-y. – Text : electronic // *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*. – 2016. – Vol. 16, № 6. – P. 1086–1098.

155. How similar are motor imagery and movement? / M. Rodriguez, C. Llanos, S. Gonzalez, M. Sabate. – DOI 10.1037/0735-7044.122.4.910. – Text : electronic // *Behav*

Neurosci. – 2008. – Vol. 122, № 4. – P. 910–916.

156. Induced gamma-band activity during actual and imaginary movements: EEG analysis / C. Amo, L. Boquete, L. de Santiago [et al.]. – DOI 10.3390/s20061545. – Text : electronic // Sensors (Basel). – 2020. – Vol. 20, № 6. – P. 1545.

157. Induced gamma-band activity during voluntary movement: EEG analysis for clinical purposes / C. Amo, Del Castillo MO, R. Barea [et al.]. – DOI 10.1123/mc.2015-0010. – Text : electronic // Motor control. – 2016. – Vol. 20, № 4. – P. 409–428.

158. Intracerebral recording of cortical activity related to self-paced voluntary movements: a Bereitschaftspotential and event-related desynchronization/synchronization. SEEG study / D. Suchurkova, I. Rektor, P. Jurak, A. Stancak. – DOI 10.1007/s00221-006-0407-9. – Text : electronic // Experimental brain research. – 2006. – Vol. 173, № 4 – P. 637–649.

159. Jiang, Yi. Neural mechanisms of global/local processing of bilateral visual inputs: an ERP study / Yi Jiang, S. Han. – DOI 10.1016/j.clinph.2005.02.014. – Text : electronic // Clinical Neurophysiology. – 2005. – Vol. 116, № 6. – P. 1444–1454.

160. Kantak, S. S. Task-Dependent Bimanual Coordination after Stroke: Relationship with Sensorimotor Impairments / S. S. Kantak, N. Zahedi, R. L. Mcgrath. – DOI 10.1016/j.apmr.2016.01.020. – Text : electronic // Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. – 2016. – Vol. 97, № 5. – P. 798–806.

161. Lifshitz, K. Electrical impedance cephalography, electrode guarding, and analog studies / K. Lifshitz. – Text : visual // Annals of the New York Academy of Sciences. – 1970. – Vol. 170, № 2. – P. 532–549.

162. Miller, K. J. The current state of electrocorticography-based brain-computer interfaces / K. J. Miller, D. Hermes, N. P. Staff. – DOI 10.3171/2020.4.FOCUS20185. – Text : electronic // Neurosurgical focus. – 2020. – Vol. 49, № 1. – P. E2.

163. Modulation of cortical activity because of voluntary postural sway direction: an EEG study / S. Slobounov, M. Hallett, C. Cao, K. Newell. – DOI 10.1016/j.neulet.2008.07.021. – Text : electronic // Neurosci Lett. – 2008. – Vol. 442, № 3. – P. 309–313.

164. Move your virtual body: differences and similarities in brain activation

patterns during hand movements in real world and virtual reality / S. E. Kober, V. Settgast, M. Brunnhofer, U. Augsdörfer [et al.]. – Text : visual // *Virtual Reality*. – 2022. – Vol. 26, № 2. – P. 1–11.

165. Movement related activity in the high gamma range of the human EEG / T. Ball, E. Demandt, I. Mutschler [et al.]. — DOI 10.1016/j.neuroimage.2008.02.032. – Text : electronic // *Neuroimage*. – 2008. – Vol. 41, № 2. – P. 302–310.

166. Neuper, C. Electroencephalographic characteristics during motor imagery / C. Neuper, Gert Pfurtscheller. – Text : electronic // *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. – 2010. – P. 65–82.

167. Neural correlates of spatial judgement during object construction in parietal cortex / M. V. Chafee, D. A. Crowe, B. B. Averbeck, A. P. Georgopoulos. – DOI 10.1093/cercor/bhi021. – Text : electronic // *Cerebral cortex*. – 2005. – Vol. 15, № 9. – P. 1393–1413.

168. Neurorobotic fusion of prosthetic touch, kinesthesia, and movement in bionic upper limbs promotes intrinsic brain behaviors / P. D. Marasco, J. S. Hebert, J. W. Sensinger [et al.]. – DOI 10.1126/scirobotics.abf3368. – Text : electronic // *Science robotics*. – 2021. – Vol. 6, № 58. – P. eabf3368.

169. Omrani, M. Rapid feedback corrections during a bimanual postural task / M. Omrani, J. Diedrichsen, S. H. Scott. – DOI 10.1152/jn.00669.2011. – Text : electronic // *Journal of neurophysiology*. – 2013. – Vol. 109, № 1. – P. 147–161.

170. Pacheco, M. M. Search strategies in the perceptual-motor workspace and the acquisition of coordination, control, and skill / M. M. Pacheco, C. W. Lafe, K. M. Newell. – DOI 10.3389/fpsyg.2019.01874. – Text : electronic // *Frontiers in Psychology*. – 2019. – Vol. 21, № 10. – P. 584.

171. Papa, S. M. Cortical activity preceding self-initiated and externally triggered voluntary movement / S. M. Papa, J. Artieda, J. A. Obeso. – DOI 10.1002/mds.870060305. – Text : electronic // *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*. – 1991. – Vol. 6, № 3. – P. 217–224.

172. Parr, J. V. V. EEG correlates of verbal and conscious processing of motor control in sport and human movement: a systematic review / J.V.V. Parr, G. Gallicchio,

G. Wood. – DOI 10.1080/1750984X.2021.1878548. – Text : electronic // *International Review of Sport and Exercise Psychology*. – 2023. – Vol. 16, № 1. – P. 396–427.

173. Pfurtscheller, G. Changes in central EEG activity in relation to voluntary movement. I. Normal subjects / G. Pfurtscheller, A. Aranibar. – DOI 10.1016/S0079-6123(08)61630-1. – Text : electronic // *Progress in brain research*. – 1980. – Vol. 54. – P. 225–231.

174. Pfurtscheller, G. Patterns of cortical activation during planning of voluntary movement / G. Pfurtscheller, A. Berghold. – DOI 10.1016/0013-4694(89)90250-2. – Text : electronic // *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. – 1989. – Vol. 72, № 3. – P. 250–258.

175. Pfurtscheller, G. Spatiotemporal ERD/ERS patterns during voluntary movement and motor imagery / G. Pfurtscheller. – DOI 10.1016/s1567-424x (09)70157-6. – Text : electronic // *Supplements to Clinical neurophysiology*. – 2000. – Vol. 53. – P. 196–198.

176. Pribram K.H. The far frontal cortex as executive processor: properties, priorities, and practical inference / K. H. Pribram. – Text : visual // *Downward Processing in the Perception Representation Mechanisms* / C. Taddei-Ferretti, C. Musio. – Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Sci. 1998. – P. 546–587.

177. Risberg, J. Patterns of activation in the grey matter of the dominant hemisphere during memorizing and reasoning: a study of regional cerebral blood flow changes during psychological testing in a group of neurologically normal patients / J. Risberg, D. H. Ingvar. – DOI 10.1093/brain/96.4.737. – Text : electronic // *Brain*. – 1973. – Vol. 96, № 4. – P. 737–756.

178. Schendan, H. E. Role of a lateralized parietal basal ganglia circuit in hierarchical pattern perception: evidence from Parkinson's disease / H. E. Schendan, M. M. Amick, A. Cronin-Golomb. – DOI 10.1037/a0013734. – Text : electronic // *Behavioral Neuroscience*. – 2009. – Vol. 123, № 1. – P. 125–136.

179. Shevelev, I. A. The role of line and corners of geometric figures in recognition performance / I. A. Shevelev, V. M. Kamenkovich, G. A. Sharaev. – DOI 10.55782/ane-2003-1475. – Text : electronic // *Acta neurobiologiae experimentalis*. – 2003. – Vol. 63,

№. 4. – P. 361–368.

180. Single trial discrimination of individual finger movements on one hand: a combined MEG and EEG study / F. Quandt, C. Reichert, H. Hinrichs [et al.]. – DOI 10.1016/j.neuroimage.2011.11.053. – Text : electronic // *Neuroimage*. – 2012. – Vol. 59, №. 4. – P. 3316–3324.

181. Spontaneous locally restricted EEG alpha activity determines cortical excitability in the motor cortex / P. Sauseng, W. Klimesch, C. Gerloff, F. C. Hummel. – DOI 10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.021. – Text : electronic // *Neuropsychologia*. – 2009. – Vol. 47, №. 1. – P. 284–288.

182. Tan, D. S. Braincomputer interface. Applying our Minds to Numan-Computer Interaction / D. S. Tan, A. Nijholt. – London : Springer Verlag, 2010. – 277 p. – Text : visual.

183. Tarotin, I. V. Central EEG rhythm associated with movement and EEG rhythm associated with spatial reasoning: are they homologous? / I. V. Tarotin, G. A. Ivanitsky. – Text : visual // *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlova*. – 2014. – Vol. 64, №. 6. – P. C. 615–626.

184. The role of higher-order motor areas in voluntary movement as revealed by high-resolution EEG and fMRI / T. Ball, A. Schreiber, B. Feige [et al.]. – DOI 10.1006/nimg.1999.0507. – Text : electronic // *Neuroimage*. – 1999. – Vol. 10, №. 6. – P. 682–694.

185. Tkachenko, P. V. Peculiarities of intra-system correlation relations of characteristics of the m-response and f-wave of muscles and nerves of the forearms involved in the implementation of complex coordinated Bimanual movements / P. V. Tkachenko. – Text : visual // *Bulletin of Medical Science*. – 2020. – Vol. 1, №. 17. – P. 24–27.

186. Tomasi, D. Associations of family income with cognition and brain structure in USA children: prevention implications / D. Tomasi, N. D. Volkow. – Text : visual // *Molecular Psychiatry*. – 2021. – Vol. 26, №. 11. – P. 6619–6629.

187. Top-down control of human visual cortex by frontal and parietal cortex in anticipatory visual spatial attention / St. L. Bressler, W. Tang, C. M. Sylvester [et al.]. –

DOI 10.1523/JNEUROSCI.1776-08.2008. – Text : electronic // The Journal of neuroscience. – 2008. – Vol. 28, № 40. – P. 10056–10061.

188. Using EEG-based brain computer interface and neurofeedback targeting sensorimotor rhythms to improve motor skills: Theoretical background, applications, and prospects / C. Jeunet, B. Glize, A. McGonigal [et al.]. – DOI 10.1016/j.neucli.2018.10.068. – Text : electronic // Neurophysiologie Clinique. – 2019. – Vol. 49, № 2. – P. 125–136.

189. Using electroencephalography to study functional coupling between cortical activity and electromyograms during voluntary contractions in humans / D. M. Halliday, B. A. Conway, S. F. Farmer, J. R. Rosenberg. – DOI 10.1016/s0304-3940(97)00964-6. – Text : electronic // Neuroscience letters. – 1998. – Vol. 241, № 1. – P. 5–8.

190. Vanderwolf, C. H. Hippocampal electrical activity and voluntary movement in the rat / C. H. Vanderwolf. – DOI 10.1016/0013-4694(69)90092-3. – Text : electronic // Electroencephalography and clinical neurophysiology. – 1969. – Vol. 26, № 4. – P. 407–418.

191. Vaughan, T. M. EEG-based communication: prospects and problems / T. M. Vaughan, J. R. Wolpaw, E. Donchin. – DOI: 10.1109/86.547945. – Text : electronic // IEEE transactions on rehabilitation engineering. – 1996. – Vol. 4, № 4. – C. 425–430.

192. Voluntary Inhibition of Physiological Mirror Activity: An EEG-EMG Study / T. Maudrich, R. Kenville, D. Maudrich [et al.]. – DOI 10.1523/ENEURO.0326-20.2020. – Text : electronic // ENeuro. – 2020. – Vol. 7, № 5. – P. ENEURO.0326-20.2020.

193. Yamaguchi, Sh. Cerebral asymmetry of the “topdown” allocation of attention to global and local features / Sh. Yamaguchi, Sh. Yamagata, Sh. Kobayashi. – Text : visual // The Journal of neuroscience. – 2000. – Vol. 20, № 9. – P. 1–5.